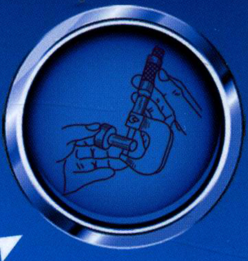
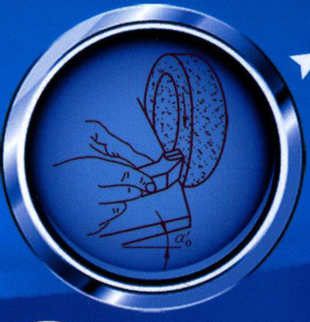
车工从技工到技师一本通

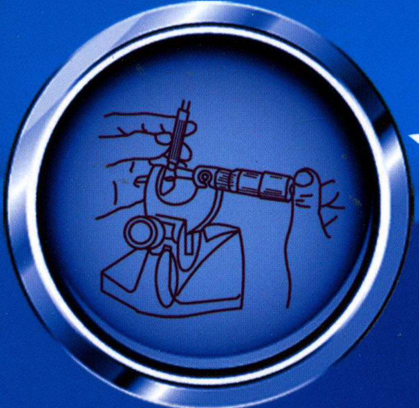
CHEGONG
CONG JIGONG DAO JISHI
YIBENTONG

◎ 桂志红　主编

精选典型加工实例
技能大师技巧点拨







机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

车工从技工到技师一本通

主　编　桂志红
副主编　晏丙午
参　编　欧阳黎健　杨和仲　罗盛耀
主　审　尹子文　周培植

机 械 工 业 出 版 社

本书是按照最新的《国家职业技能标准　车工》对初级工、中级工、高级工和技师层次的知识要求和技能要求，结合车工岗位必须掌握的理论知识和操作技能进行编写的。本书主要内容包括：车工基础知识、车工基本操作技能、典型零件的车削加工、组合件的车削加工。本书内容由浅入深，精选典型加工实例，并且设有“技能大师经验谈”等小栏目，对作者积累的工作经验进行了提炼和总结，便于读者快速掌握车削加工技巧、提升操作技能。

本书可供广大车工自学使用，同时可作为企业培训部门、职业技能鉴定培训机构的培训教材。

图书在版编目（CIP）数据

车工从技工到技师一本通/桂志红主编. —北京：机械工业出版社，2016.12

ISBN 978-7-111-55643-5

Ⅰ.①车…　Ⅱ.①桂…　Ⅲ.①车削　Ⅳ.①TG51

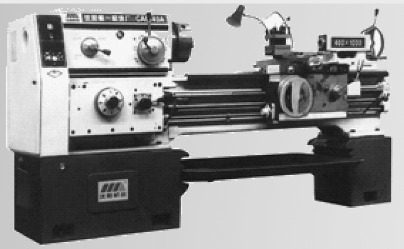
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 302712 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：赵磊磊　责任编辑：赵磊磊　责任校对：刘　岚
封面设计：张　静　责任印制：李　飞
北京玥实印刷有限公司印刷
2017 年 4 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm · 19.75 印张 · 402 千字
0001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-55643-5
定价：45.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
服务咨询热线：010-88361066	机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294	机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
010-88379203	金 书 网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版	教育服务网：www.cmpedu.com

前言



我国正处于由制造大国向制造强国迈进的关键时期，“十三五”期间要加快制造业的发展，需要培养具有高素质的技能人才队伍。车工是机械加工行业从业人员较多的一个工种，在实际生产中，大多数机械零件需要车削加工达到规定的几何精度，因此车工水平的高低，对工件质量有着很大的影响。为了满足广大车工学习的需要，提高其理论知识和操作技能水平，我们组织编写了本书。

本书是按照最新的《国家职业技能标准　车工》对初级工、中级工、高级工和技师层次的知识要求和技能要求，结合车工岗位必须掌握的理论知识和操作技能进行编写的。本书主要内容包括：车工基础知识、车工基本操作技能、典型零件的车削加工、组合件的车削加工。本书内容由浅入深，精选典型加工实例，并且设有“技能大师经验谈”等小栏目，对作者积累的工作经验进行了提炼和总结，便于读者快速掌握车削加工技巧、提升操作技能。

本书主要特点如下：

1）实例丰富。内含各个等级的加工实例，而且这些实例都来自于生产一线，是技能大师们多年工作经验的总结。

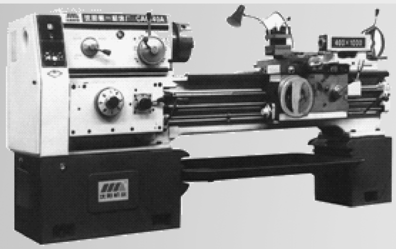
2）图文对照。书中通过大量的线条图和照片图，将复杂抽象的内容形象化、简单化，便于读者快速掌握。

本书可供广大车工自学使用，同时可作为企业培训部门、职业技能鉴定培训机构的培训教材。

本书由桂志红任主编，晏丙午任副主编，欧阳黎健、杨和仲和罗盛耀参加编写，全书由尹子文、周培植主审。在本书编写过程中得到了中车株洲电力机车有限公司工会技师协会的大力支持，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编　者



目录

前言

第1章　车工基础知识 …… 1

1.1　车床及车工操作基本知识 …… 1

1.1.1　车床 …… 1

1.1.2　车工操作基础知识 …… 11

1.2　工艺分析与工序设计 …… 18

1.2.1　读图 …… 19

1.2.2　工艺分析 …… 20

1.2.3　定位基准的选择 …… 20

1.2.4　加工工序的设计 …… 22

1.3　车工用先进、新型刀具 …… 24

1.3.1　可转位车刀 …… 24

1.3.2　涂层刀具 …… 33

1.3.3　金刚石刀具 …… 34

1.3.4　立方氮化硼刀具 …… 37

1.3.5　陶瓷刀具 …… 39

1.3.6　群钻 …… 41

1.3.7　硬质合金车刀的粘焊、刃磨及研磨 …… 48

1.4　工件的装夹与找正 …… 53

1.4.1　工件的无针找正 …… 54

1.4.2　用单动卡盘装夹、找正矩形精密工件 …… 55

1.4.3　在花盘上安装、找正工件 …… 57

1.5　精密量具及其测量方法 …… 57

1.5.1　车工常用精密量具与量仪 …… 57

1.5.2　常用的尺寸测量方法 …… 69

1.5.3　常用形状和位置精度的检验 …… 76

第2章　车工基本操作技能 …… 87

2.1　车削轴类工件 …… 87

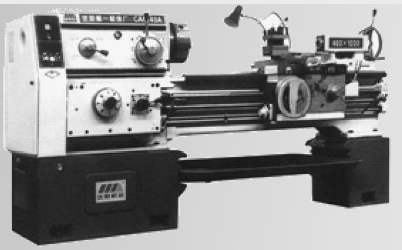
2.1.1　车削轴类工件常用顶尖的改进 …… 87

2.1.2　中心孔的钻削、研磨和修复 …… 92

2.1.3　外圆车刀的结构及其改进 …… 98

2.1.4 车削中的断屑措施 …… 103
2.1.5 在车床上加工特殊轴类工件 …… 107
2.2 车削圆锥面、端面和切断 …… 111
2.2.1 车削圆锥面 …… 111
2.2.2 车削端面 …… 125
2.2.3 切断工件 …… 135
2.3 孔的车削 …… 148
2.3.1 车孔刀 …… 148
2.3.2 刀杆的结构形式 …… 151
2.3.3 普通孔类工件的车削 …… 159
2.4 车削螺纹 …… 163
2.4.1 普通螺纹 …… 163
2.4.2 梯形螺纹 …… 170
2.5 深孔加工 …… 179
2.5.1 深孔加工的特点和关键技术 …… 179
2.5.2 深孔加工刀具 …… 180
2.5.3 深孔加工中的冷却与排屑 …… 190
2.5.4 深孔加工方法及应注意的问题 …… 192
2.5.5 液压筒车削加工实例 …… 196
2.6 车削难加工材料 …… 199
2.6.1 影响切削加工性的因素 …… 199
2.6.2 特种金属材料的车削 …… 200
2.6.3 非金属材料的车削 …… 206
2.7 废品产生原因及预防方法 …… 208
2.7.1 套螺纹和攻螺纹 …… 214
2.7.2 车削梯形螺纹 …… 215
2.7.3 车削矩形螺纹 …… 215
2.7.4 车削蜗杆 …… 216
2.7.5 车削多线螺纹 …… 216
第3章 典型零件的车削加工 …… 218
3.1 十字检具的车削加工 …… 218
3.1.1 主要技术要求与工艺分析 …… 218
3.1.2 参考加工方法与工序设计 …… 218
3.1.3 主要部位的检验 …… 223
3.2 曲轴的车削加工 …… 223
3.2.1 主要技术要求与工艺分析 …… 225
3.2.2 参考加工方法与工序设计 …… 225
3.2.3 主要部位的检验 …… 230
3.3 中滑板丝杠的车削加工 …… 232

3.3.1 主要技术要求与工艺分析 …… 233
3.3.2 参考加工方法与工序设计 …… 233
3.3.3 主要部位的检验 …… 240
3.4 多头蜗杆的车削加工 …… 241
3.4.1 多头蜗杆的分头方法 …… 241
3.4.2 蜗杆车削刀具 …… 242
3.4.3 多头蜗杆车削实例 …… 245
3.5 薄壁套的车削加工 …… 249
3.5.1 主要技术要求与工艺分析 …… 249
3.5.2 参考加工方法与工序设计 …… 250
3.5.3 主要部位的检验 …… 251
3.6 轴承座的车削加工 …… 251
3.6.1 主要技术要求与工艺分析 …… 252
3.6.2 参考加工方法与工序设计 …… 254
3.6.3 主要部位的检验 …… 256
3.7 滑座的车削加工 …… 257
3.7.1 主要技术要求与工艺分析 …… 258
3.7.2 参考加工方法与工序设计 …… 258
3.7.3 主要部位的检验 …… 262
3.8 十字孔四方体的车削加工 …… 263
3.8.1 主要技术要求与工艺分析 …… 263
3.8.2 参考加工方法与工序设计 …… 263
3.8.3 主要部位的检验 …… 266
第 4 章 组合件的车削加工 …… 268
4.1 组合件加工特点与技巧 …… 268
4.2 轴套两件组合的车削加工 …… 271
4.3 轴套四件组合的车削加工 …… 279
4.4 轴套六件组合的车削加工 …… 288
4.5 轴套八件组合的车削加工 …… 298
参考文献 …… 310



第 1 章

车工基础知识

1.1　车床及车工操作基本知识

金属切削机床简称机床，是机械制造业的主要加工设备。常用的有车床、钻床、镗床、磨床、铣床、刨床等，其中车床是机械制造中使用最广泛的一类机床。车床按照结构和用途可划分为卧式、立式、转塔、仿形及多刀车床，还有单轴自动、多轴自动、半自动以及各种专用车床。车削加工是机械加工最常用的方法，占机床加工总量的 50%以上。近年来，数控车床与普通车床相比具有巨大的优越性，因而应用越来越广泛。

作为一名车工，正确地使用和保养车床，熟悉其性能、结构以及使用和调整方法，是操作者必须掌握的最重要的操作技能之一。

1.1.1　车床

1. 车床型号

根据 GB/T 15375—2008《金属切削机床　型号编制方法》对机床的分类，车床共分为：仪表车床；单轴自动车床；多轴自动、半自动车床；回轮、转塔车床；曲轴及凸轮轴车床；立式车床；落地及卧式车床；仿形及多刀车床；轮、轴、辊、锭及铲齿车床；其他车床 10 组，其组代号分别为 0~9。

在实际生产中应用最多的是卧式车床，其典型型号为 CA6140，如图 1-1 所示。其型号中各代号的含义为：

C　A　6　1　40

- 40——主参数折算值(床身最大工件回转直径的 1/10)
- 1——系代号(卧式车床系)
- 6——组代号(卧式车床组)
- A——结构特性代号
- C——类代号(车床类)

(1) 车床的类代号　类代号用机床名称的第一个汉语拼音大写字母表示，如车

床用 C、钻床用 Z、铣床用 X、刨床用 B、磨床用 M 等。

（2）车床的特性代号　车床的特性代号包括通用特性代号和结构特性代号，位于类代号之后。

1）通用特性代号。当某些类型的机床除有普通型外，还有某种通用特性时，则在类代号之后用通用特性代号予以区分，如 G 表示高精度、M 表示精密、Z 表示自动、B 表示半自动、K 表示数控。

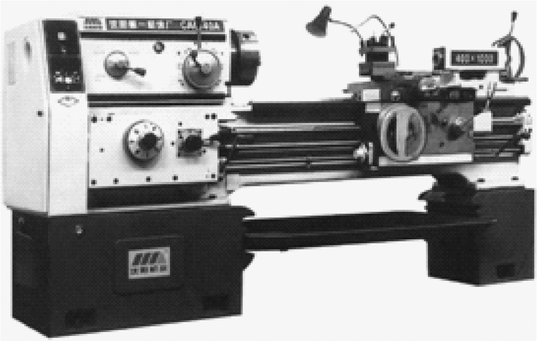


图 1-1　CA6140 型车床

2）结构特性代号。对主参数相同而结构、性能不同的机床，在型号中用结构特性代号予以区分。结构特性代号在型号中没有统一的含义，只在同类机床中起区分机床结构、性能的作用。

例如：

CA6140　沈阳第一机床厂

CY6140　云南机床厂

CDE6140　大连机床厂

当型号中有通用特性代号时，结构特性代号应排在通用特性代号之后。结构特性代号用汉语拼音字母表示，但是，通用特性代号已用的字母和“I”“O”两个字母不能用。当单个字母不够用时，可将两个字母组合起来使用，如 AD、AE、DA、EA 等。

（3）车床的组、系代号　国家标准规定，每类机床划分为 10 个组，每个组又划分为 10 个系。车床的组代号用一位阿拉伯数字表示，位于类代号或特性代号之后。车床的系代号用一位阿拉伯数字表示，位于组代号之后。

车床组中：

0 组：仪表车床组	1 组：单轴自动车床轴
2 组：多轴自动、半自动车床组	3 组：六角车床组
4 组：曲轴及凸轮车床组	5 组：立式车床组
6 组：卧室车床组	7 组：仿形及多刀车床组
8 组：铲齿车床组	9 组：其他车床组

对于每组的 10 个系，组不同，系也不同。

（4）机床的主参数和主轴数　机床的主参数代表机床规格的大小，常用折算值（主参数乘以折算系数）表示，位于系代号之后。车床主参数及折算系数如下：

卧式车床：1/10。

立式车床：1/100。

对于多轴车床等，其主轴数应以实际轴数列入型号，位于主参数之后，用“×”分开。

（5）重大改进顺序号 机床的性能及结构有重大改进，在机床型号尾部加改进顺序号，用字母 A、B、C 等。例：CA6140A——第一次重大改进。

2. 车床外形及结构

卧式车床在车床中使用最多，它适合于单件、小批量的轴类、盘类工件的加工。卧式车床主要由床身、主轴箱、交换齿轮箱、进给箱、溜板箱、刀架部分、尾座、床脚、冷却装置、电气部分等组成，如图 1-2 所示。

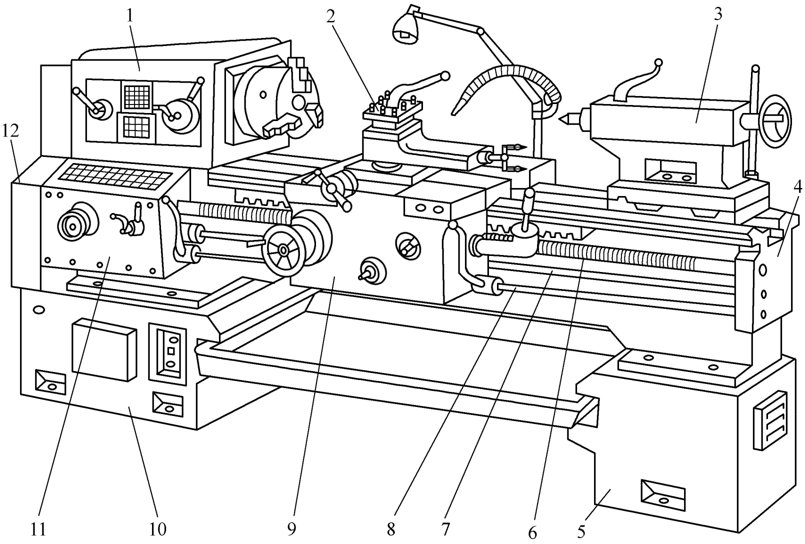


图 1-2 CA6140 型卧式车床的主要结构

1—主轴箱 2—刀架 3—尾座 4—床身 5、10—右、左床脚 6—丝杠
7—光杠 8—操纵杆 9—溜板箱 11—进给箱 12—交换齿轮箱

（1）CA6140 型卧式车床主要组成部分的作用

1）主轴箱。主轴箱支承主轴并带动工件做回转运动。箱内装有由齿轮、轴等零件组成的变速传动机构，变换箱外手柄位置，可使主轴得到多种不同转速。

2）进给箱。进给箱是进给传动系统的变速机构。它把交换齿轮箱传递来的运动经过变速后传递给丝杠或光杠，以实现各种螺纹的车削或机动进给。

3）交换齿轮箱。用来将主轴的回转运动传递到进给箱。更换箱内齿轮，配合进给箱变速机构，可以得到车削各种螺距螺纹（或蜗杆）的进给运动；并满足车削时对不同纵、横向进给量的需求。

4）溜板箱。溜板箱是车床进给运动的操纵箱。在其上装有刀架。接通丝杠时，合上开合螺母，可车削螺纹。接通光杠时，可使刀架做纵向移动或横向移动，用来

车削圆柱面或端面，接受光杠或丝杠传递的运动，驱动床鞍和中、小滑板及刀架实现车刀的纵、横向进给运动。

5）床身。床身是车床的大型基础部件，精度要求很高，用来支承和连接车床的各个部件。床身上面有两条精确的导轨（山形导轨和平导轨），床鞍和尾座可沿着导轨移动。床身由床脚支承并固定在地基上。

6）刀架部分。刀架部分由床鞍、两层滑板（中滑板和小滑板）和刀架体共同组成，用于装夹车刀并带动车刀做纵向、横向和斜向运动。

刀架用来夹持车刀，在水平面内可做纵向移动、横向移动和斜向移动。它主要包括：

① 大滑板（大刀架）。大滑板与溜板箱相连，可带动整个刀架沿床身导轨纵向移动。

② 中滑板（横刀架）。中滑板可带动小滑板沿大滑板上的导轨做横向移动。

③ 转盘。转盘与中滑板用螺钉紧固。松开螺钉，在水平面内可扳转任意角度。

④ 小滑板（小刀架）。小滑板可沿转盘上面的导轨做短距离移动。转动转盘后小刀架的移动用于车削圆锥面。

⑤ 方刀架。方刀架固定在小滑板上。可安装四把车刀，绕垂直轴转换刀架位置，即可快速换刀。

⑥ 尾座。安装在床身导轨上，并可沿导轨纵向移动，以调整其工作位置。尾座主要用来安装后顶尖，以支承较长的工件，也可以安装钻头、铰刀等切削刀具进行孔加工。

尾座的结构如图 1-3 所示，它主要由套筒、尾座体、底座等几部分组成。转动手轮，可调整套筒伸缩一定距离，并且尾座还可沿床身导轨推移至所需位置，以适应不同工件加工的要求。

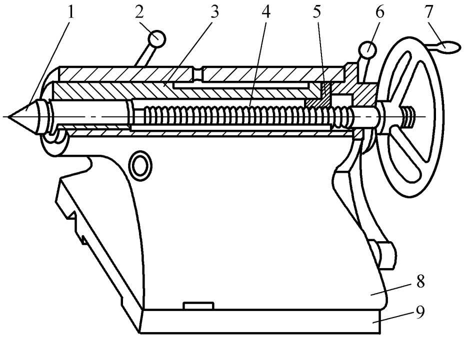


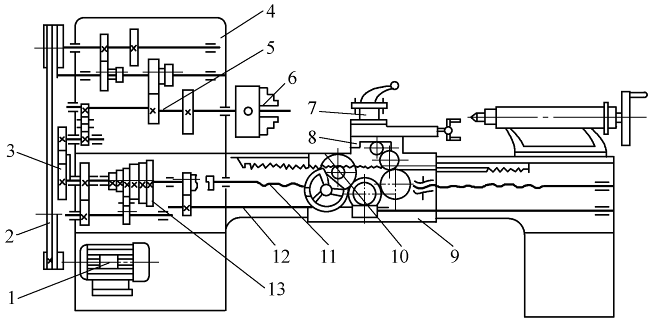
图 1-3 尾座的结构

1—顶尖 2—套筒锁紧手柄 3—顶尖套筒 4—丝杠 5—螺母 6—尾座锁紧手柄 7—手轮 8—尾座体 9—底座

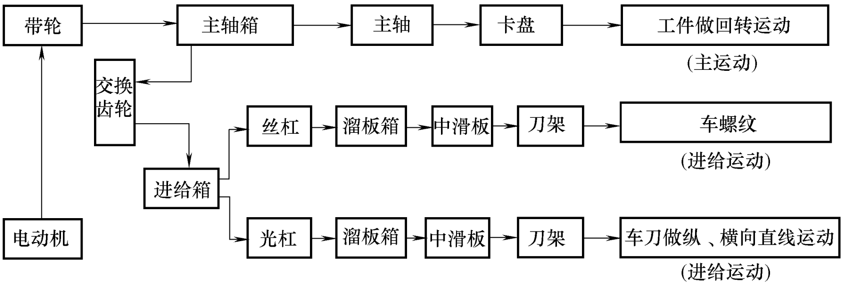
3. 卧式车床传动系统

现以 CA6140 型车床为例，介绍车床传动系统。为了完成车削工作，车床必须有主运动和进给运动的相互配合。

如图 1-4 所示，主运动是通过电动机 1 驱动传动带 2，把运动输入到主轴箱 4，主轴 5 通过变速机构变速，使主轴得到不同的转速，再经卡盘 6（或夹具）带动工件旋转。而进给运动则是由主轴箱把旋转运动输出到交换齿轮 3，再通过进给箱里的变速齿轮组 13 变速后由丝杠 11 或光杠 12 驱动溜板箱 9、床鞍 10、中滑板 8、刀架 7，从而控制车刀的运动轨迹完成车削各种表面的工作。



a)



b)

图 1-4　CA6140 型车床的组成和运动的传递过程

a）车床传动系统示意图　b）车床传动路线框图

1—电动机　2—传动带　3—交换齿轮　4—主轴箱　5—主轴　6—卡盘　7—刀架

8—中滑板　9—溜板箱　10—床鞍　11—丝杠　12—光杠　13—变速齿轮组

4. 卧式车床的主要部件和结构

（1）主轴部件　主轴部件是主轴箱最重要的部分，也是车床的重要部件。

车削时工件装夹在主轴上的夹具中，并由其直接带动做旋转主运动，在工作中要承受很大的切削力。主轴的旋转精度、刚度、抗振性和热变形等对于工件的加工精度和表面粗糙度有直接影响，因此对主轴及其主轴支承要求较高。

CA6140 型卧式车床的主轴支承一般为前后两点支承，大多采用滚动轴承。轴承对主轴回转精度和刚度的影响很大，轴承应在无间隙（或少量过盈）条件下进行运转。在车床使用一段时间后，因承受切削力和磨损会使轴承间隙增大，需及时调整主轴前、后支承中的轴承；卧式车床的主轴是空心的，其内孔用于通过长棒料以及气动、液压等夹紧驱动装置的传动杆，也可在卸顶尖时穿入钢棒。主轴前端有精密的莫氏锥孔，供装夹前顶尖或心轴使用。

（2）离合器　离合器用来使同轴线的两轴或轴与轴上的空套传动件随时接合或脱开，以实现车床运动的起动、停止、变速和变向等。

离合器的种类很多，CA6140 型车床上的离合器有啮合式离合器、摩擦式离合器和超越离合器等。

（3）制动装置　制动装置的功用是在车床停车的过程中，克服主轴箱内运动件的旋转惯性，使主轴迅速停止转动，以缩短辅助时间。

CA6140 型车床上的制动装置采用的是闸带式制动器。

（4）变速机构　变速机构用来改变主动轴与从动轴之间的传动比，在主动轴转速固定不变的条件下，使从动轴获得多种不同的转速。车床上常用的变速机构有滑移齿轮变速机构和离合器变速机构。

（5）变向机构　变向机构用来改变车床运动部件的运动方向，如主轴的旋转方向、床鞍和中滑板的进给方向等。车床上常用的变向机构有滑移齿轮变向机构、由圆柱齿轮和摩擦离合器组成的变向机构等。

（6）操纵机构　车床操纵机构的作用是改变离合器的工作状态和滑移齿轮的啮合位置，实现主运动和进给运动的起动、停止、变速、变向等。

在车床上，除一些较简单的拨叉操纵外，常采用集中操纵的方式，即用一个手柄操纵几个滑移齿轮或离合器等传动件。这样可减少手柄的数量，便于操作。CA6140 型车床上有主轴变速操纵机构和纵、横向机动进给操纵机构。

（7）开合螺母机构　开合螺母机构的功用是接通和断开从丝杠传来的运动。车削螺纹和蜗杆时，将开合螺母合上，丝杠通过开合螺母带动溜板箱及刀架运动。

（8）安全离合器　安全离合器的功用是在机动进给过程中，当进给抗力过大或刀架运动受到阻碍时，能自动停止进给运动，避免传动机件损坏，因此又称为进给过载保护机构。

5. CA6140A 型卧式车床技术参数

CA6140A 型卧式车床技术参数见表 1-1。本系列车床适用于车削内外圆柱面、内锥面及其他旋转面。车削各种米制、寸制、模数和径节螺纹，并能进行钻孔和拉油槽等工作。

结构特点：

1）CA 系列产品，以“A”型为基型，派生出几种变形产品。B 型：主轴孔径为 80mm，C 型：主轴孔径为 104mm。F 型：液压仿形。M 型：精密型。

2）床身宽于一般车床，具有较高的刚度，导轨面经中频淬火，经久耐磨。

3）机床操作灵便集中，滑板设有快移机构。采用单手柄形象化操作，宜人性好。

4）机床结构刚度与传动刚度均高于一般车床，功率利用率高，适于强力高速切削。主轴孔径大，可选用附件齐全。

6. 车床的润滑和维护保养

为了保持车床正常运转和延长其使用寿命，应注意日常的维护保养。车床的摩擦部分必须进行润滑。

表 1-1　CA6140A 型卧式车床技术参数

项　　目	规　　格
床身上最大回转直径	400mm
最大工件长度(两顶尖间距离)	750mm
最大车削长度(最大加工长度)	650mm
刀架上回转直径	210mm
主轴中心至床身平面导轨距离	205mm
主轴通孔直径	52mm
主轴孔前端锥度	莫氏 6 号
主轴转速级数	正转:24 级;反转:12 级
主轴转速范围	正转 11～1600mm/r(50Hz),12～1680mm/r(60Hz);反转 14～1580mm/r(50Hz),16.8～1896mm/r(60Hz)
纵向进给范围种类	64 种
纵向进给范围—标准进给	0.08～1.59mm/r
纵向进给范围—小进给	0.028～0.054mm/r
纵向进给范围—加大进给	1.71～6.33mm/r
横向进给范围种类	64
横向进给范围—标准进给	0.04～0.79mm/r
横向进给范围—小进给	0.014～0.027mm/r
横向进给范围—加大进给	0.86～3.16mm/r
刀架纵向的快移速度	4m/min
刀架横向的快移速度	2m/min
加工米制螺纹种数及范围	44 种;1～192mm
加工寸制螺纹种数及范围	21 种;2～24 牙/in(1in=25.4mm)
加工模数螺纹种数及范围	39 种:0.25～48mm
加工径节螺纹种数及范围	37 种;1～96DP
床尾主轴孔锥度(尾座套筒锥孔锥度)	莫氏 5 号
机床丝杠螺距	12
床身导轨宽度(导轨跨度)	400mm
床身导轨硬度	52HRC
主电动机功率	7.5kW
机床净重	1990kg
机床毛重	2670kg
机床轮廓尺寸(长×宽×高)	2418mm×1000mm×1267mm
机床包装尺寸(长×宽×高)	2600mm×1520mm×2010mm
加工精度	IT7
表面粗糙度 *Ra* 值	1.6μm

（1）车床润滑的几种方式

1）浇油润滑。通常用于外露的滑动表面，如床身导轨面和滑板导轨面等。

2）溅油润滑。通常用于密封的箱体中，如车床的主轴箱，利用齿轮的转动把润滑油溅到油槽中，然后输送到各处进行润滑。

3）油绳导油润滑。通常用于车床进给箱的溜板箱的油池中，利用毛线吸油和渗油的能力，把机油慢慢地引到所需要的润滑处，如图 1-5a 所示。

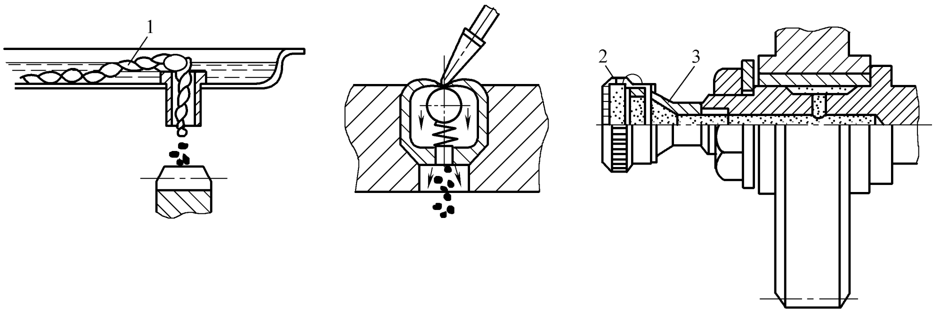


图 1-5　车床润滑的几种方式

a）油绳导油润滑　b）弹子油杯注油润滑　c）油杯润滑

1—毛线　2—润滑油杯　3—黄油

4）弹子油杯注油润滑。通常用于尾座和滑板摇手柄转动的轴承处。注油时，以油嘴把弹子按下，滴入润滑油，如图 1-5b 所示。使用弹子油杯的目的是防尘防屑。

5）油杯润滑。通常用于车床交换齿轮架的中间轴。使用时，先在油杯中装满润滑脂，当拧紧油杯盖时，润滑脂就挤进轴承套内，比加润滑油方便。使用润滑脂润滑的另一个特点是：润滑脂储存期长，不需要每天添加，如图 1-5c 所示。

6）油泵输油润滑。通常用于转速高、润滑油需要量大的机构中，如车床的主轴箱一般都采用油泵输油润滑。

（2）车床的润滑系统　现以 C620-1 型车床为例来说明润滑的部位及要求。

C620-1 型车床的润滑系统如图 1-6 所示。润滑部位用数字标出，图 1-6 中除了 9、10、16 处的润滑部位用润滑脂进行润滑外，其余都使用 30 号机油。

主轴箱的储油量，通常以油面达到油窗高度为宜。箱内齿轮用溅油法进行润滑，主轴后轴承用油绳导油润滑，车床主轴前轴承等重要润滑部位用往复式油泵供油润滑。主轴箱上有一个油窗，如发现油孔内无油输出，则说明油泵输油系统有故障，应立即停机检查断油原因，等修复后才可开动车床。主轴箱、进给箱和溜板箱内的润滑油一般三个月更换一次，换油时应在箱体内用煤油洗清后再加油。交换齿轮箱上的正反机构主要靠齿轮溅油润滑，油面的高度可以从油窗孔看出，换油期也

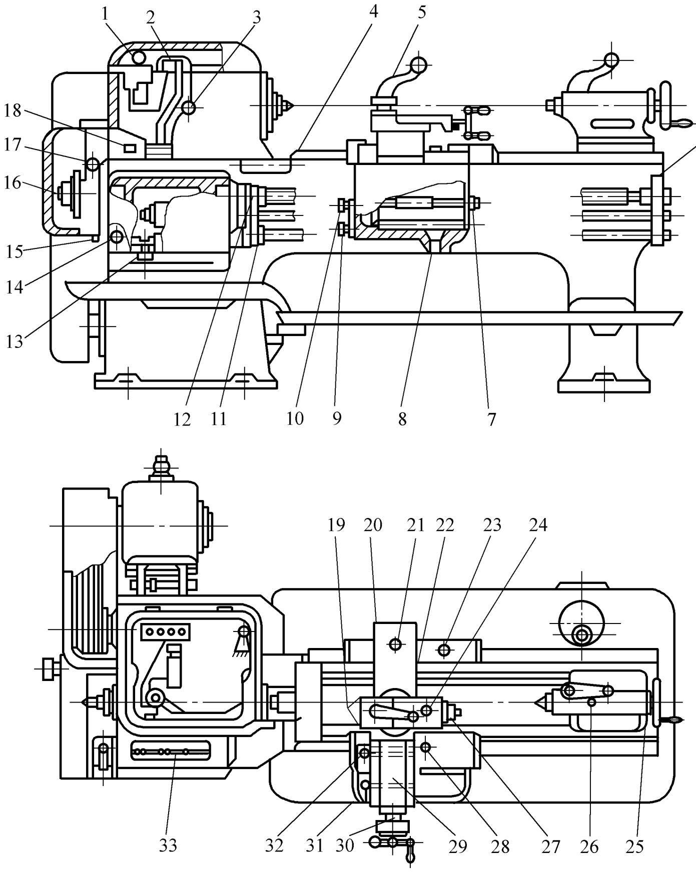


图 1-6　车床的润滑系统

1—多片式过滤器　2—往复式液压泵　3、14、17—油窗口　4、8、13、15—放油孔
9、10、16—脂润滑　5、6、7、11、12、18—油面指示牌　19~33—弹子油杯润滑分布点

是三个月一次。

进给箱内的轴承和齿轮，除了用齿轮溅油法进行润滑外，还靠进给箱上部的储油池通过油绳导油润滑。因此除了注意进给箱油窗内油面的高度外，每班还要给进给箱上部的储油池加一次油。

溜板箱内脱落蜗杆机构用箱体内的油来润滑，油从盖板中注入，其储油量通常加到这个孔的下面边缘为止。溜板箱内其他机构，用其上部储油池里的油绳导油润滑，润滑油由孔 31 和孔 32 注入。

床鞍、中滑板、小滑板部分、尾座和光杠丝杠等的轴承，靠油孔注油润滑（图 1-6 中标注 5 和 19~33 处），每班加油一次。

交换齿轮架中间齿轮轴承和溜板箱内换向齿轮的润滑（图 1-6 中标注 9、10、16 处）每周加润滑脂一次，每天向轴承中旋进一部分润滑脂。

（3）车床的润滑要求

1）车床上一般都有润滑系统图，应严格按照润滑系统图进行润滑。

2）换油时，应先将废油放尽，然后用煤油把箱体内冲洗干净，再注入新机油，注油时应用网过滤，且油面不得低于油标中心线。主轴箱内零件用油泵润滑或飞溅润滑。箱内润滑油一般三个月更换一次。主轴箱箱体上有一个油标，若发现油标内无油输出，则说明油泵输油系统有故障，应立即停机检查断油的原因，并修复。

3）进给箱上部油绳导油润滑的储油槽，每班应加一次油。

4）交换齿轮箱中间齿轮轴轴承是油杯润滑，每班一次，七天加一次钙基脂。

5）弹子油杯润滑每班一次。导轨工作前后擦净，用油枪加油。

（4）车床日常保养要求

1）每天工作后，切断电源，应对各表面、各罩壳、车床导轨面（包括中滑板和小滑板）、丝杠、光杠、各操纵手柄和操纵杆进行擦拭，要求无油污、无铁屑，并浇油润滑，使车床外表清洁和场地整齐。

2）每周要求保养床身导轨面和中小滑板导轨面，以及维护转动部位的整洁、润滑。要求油眼畅通、油标清晰，清洗油绳和护床油毛毡，保持车床外表清洁和工作场地整洁。

（5）车床一级保养要求　车床运行500h后，须进行一级保养。其保养以操作工人为主，在维修工人的配合下进行。保养时必须先切断电源，然后按下述顺序和要求进行。

1）主轴箱的保养。

① 清洗过滤器，使其无杂物。

② 检查主轴锁紧螺母有无松动，紧定螺钉是否拧紧。

③ 调整制动器及离合器摩擦片间隙。

2）交换齿轮箱的保养。

① 清洗齿轮、轴套，并在油杯中注入新润滑脂。

② 调整齿轮啮合间隙。

③ 检查轴套有无晃动现象。

3）滑板和刀架的保养。拆洗刀架和中、小滑板，洗净擦干后重新组装，并调整中、小滑板与镶条的间隙。

4）尾座的保养。摇出尾座套筒，并擦净涂油，以保证内外清洁。

5）润滑系统的保养。

① 清洗冷却泵、过滤器和盛液盘。

② 保证油路畅通，油孔、油绳、油毡清洁无铁屑。

③ 检查油质，保持良好，油杯齐全，油槽清晰。

6）电器的保养。

① 清扫电动机、电气箱上的尘屑。

② 电气装置固定整齐。

7）外表的保养。

① 清洗车床外表及各罩盖，保持其内外整洁，无锈蚀、油污。

② 清洗三杠（光杠、丝杠、操作杠）。

③ 检查并补齐各螺钉、手柄球、手柄。

8）其他部件的润滑保养。

1.1.2　车工操作基础知识

1. 车削在机械制造业中的任务

在机械制造业中，复杂的机械大都是由各种轴类、套类、盘类、螺纹、锥体、畸形零件等组成的，都得通过车工粗、精加工来完成。随着科技的发展，尽管有些零件由精密铸造与冷作而成，但大多数还离不开金属切削加工。尤其是精度要求高的零件，还是要通过车、磨而成。

车削加工的范围：车外圆，车端面，车内孔，车外螺纹，车内螺纹，钻中心孔，钻孔，滚花，切断或车外、内沟槽，车端面槽，绕弹簧，车外圆锥，车成形面等，如图 1-7 所示。

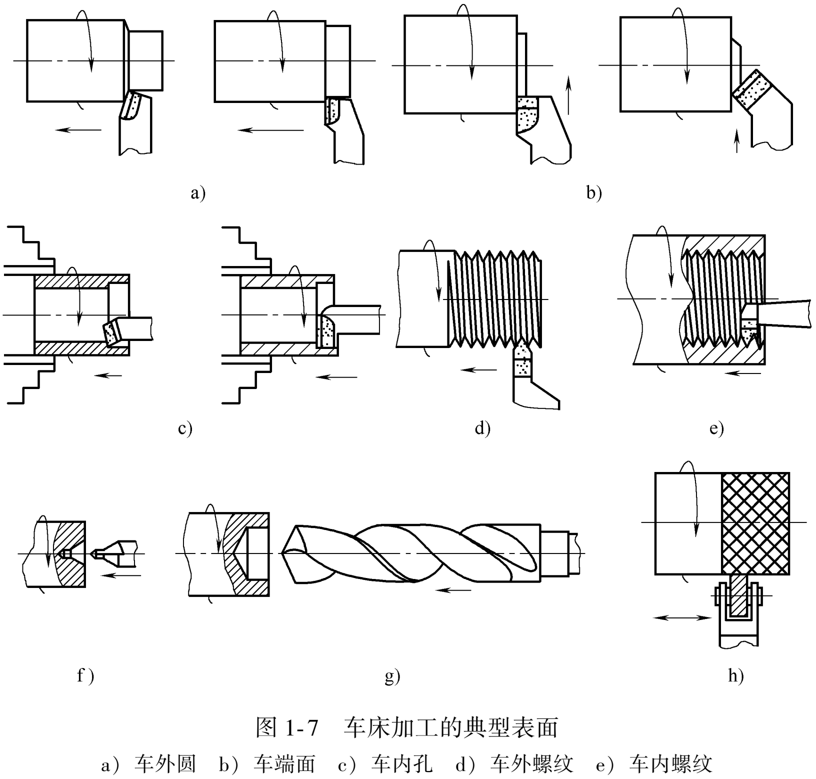


图 1-7　车床加工的典型表面

a）车外圆　b）车端面　c）车内孔　d）车外螺纹　e）车内螺纹

f）钻中心孔　g）钻孔　h）滚花

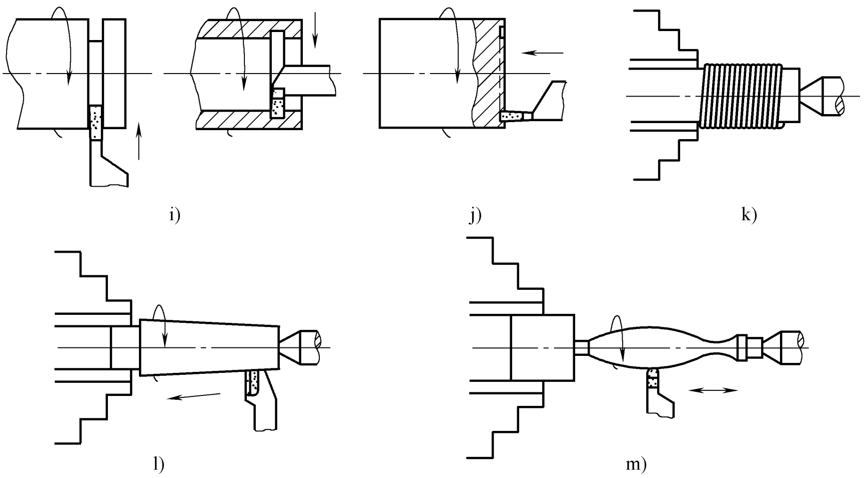


图 1-7　车床加工的典型表面（续）

i）切断或车外、内沟槽　j）车端面槽　k）绕弹簧　l）车外圆锥　m）车成形面

2. 切削运动和切削用量的基本概念

金属切削加工时，工件是机械加工过程中被加工对象的总称，任何一个工件都必须经过由毛坯加工到成品的过程，在这个过程中，要使刀具对工件进行切削加工形成各种表面，必须使刀具与工件间产生相对运动，这种金属切削加工中的相对运动称为切削运动。切削运动按其所起的作用可分为主运动和进给运动。

（1）主运动　主运动是切除工件上多余金属层，形成工件新表面所必需的运动，它是切削加工中最基本、最主要的运动，通常它的速度最高、消耗的机床功率最多，如车削加工时工件的回转运动（图 1-8），铣、镗和钻削加工时刀具的回转运动，刨削加工时刨刀的直线运动（图 1-9）。

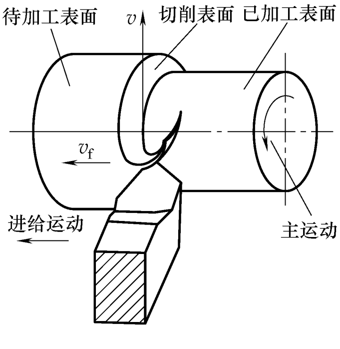


图 1-8　车削运动和工件上的表面

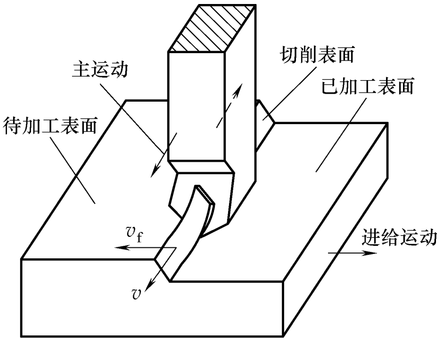


图 1-9　刨削运动和工件上的表面

（2）进给运动　进给运动是把被切削金属层间断或连续投入切削的一种运动，

与主运动相配合即可不断地切除金属层，获得所需的表面。进给运动的特点是速度小，消耗功率少，可由一个或多个运动组成。外圆车削中沿工件轴向的纵向进给运动是连续的，沿工件径向的横向进给运动是间断的。

（3）切削过程中工件上形成的表面　工件在切削过程中形成了三个表面，其中待加工表面是指工件上即将被切削掉的表面，即图1-10中的表面1；过渡表面是工件上切削刃正在切削的表面，如图1-10中的表面2；已加工表面是指工件上经切削加工后形成的表面，如图1-10中的表面3。

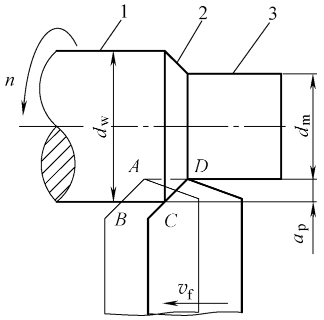


图1-10　切削过程中工件上形成的表面

（4）切削用量　切削用量是用来衡量切削运动大小的参数。切削速度、进给量和背吃刀量称为切削用量的三要素。只有合理地确定切削用量，才能顺利地进行切削，这也是保证产品质量、提高劳动生产率的有效办法。

1）背吃刀量 a_p。在垂直于主运动方向和进给运动方向的工作平面内测量的刀具切削刃与工件切削表面的接触长度称为背吃刀量。对于外圆车削，背吃刀量为工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离，单位为mm。即

$$a_p=\frac{1}{2}(d_w-d_m)$$

式中　d_w——工件待加工表面的直径（mm）；

d_m——工件已加工表面的直径（mm）。

2）进给量 f。刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量称为进给量。不同的加工方法，由于所用刀具和切削运动形式不同，进给量的表述和度量方法也不同。进给量的单位是mm/r（用于车削、镗削等）或mm/行程（用于刨削、磨削等）。进给量表示进给运动的速度。进给运动速度还可以用进给速度 v_f（单位是mm/s）或每齿进给量 f_z（用于铣刀、铰刀等多刃刀具，单位是mm/z）表示。一般

$$v_f=nf-dzf_z$$

式中　n——主运动的转速（m/min）；

z——刀具齿数。

3）切削速度 v。刀具切削刃上选定点相对于工件主运动的速度称为切削速度，单位为m/min或m/s。由于切削刃上各点的切削速度是不同的，计算时常用最大切削速度代表刀具的切削速度。外圆车刀车削外圆时的切削速度计算式为

$$v=\frac{\pi d_w n}{1000}$$

式中　d_w——工件待加工表面的直径（mm）；

n——工件的转速（r/s）。

铣削时，由于铣刀是多齿刀具，进给量单位除 mm/r 外，还规定了每齿进给量，用 a_f表示，单位是 mm/z，v_f、f、a_f三者之间的关系为

$$v_f = nf = na_f z$$

式中　z——多齿刀具的齿数。

总之，在实际生产中，通常是已知工件直径，并根据工件材料、刀具材料和加工性质等因素选定切削速度。再将切削速度换成车床转速，以便调整机床。尽量选择与车床铭牌上的转速相同。

（5）切削用量的选择原则　合理地选择切削用量，能够保证工件加工质量，提高切削效率，延长刀具使用寿命和降低加工成本。

根据不同加工性质对切削加工的要求，切削用量会选得不一样。粗加工时，应尽量保证较高的金属切除率和必要的刀具寿命，一般优先选择大的背吃刀量，其次选择较大的进给量，最后根据刀具寿命，确定合适的切削速度。精加工时，应保证工件的加工质量，一般选用较小的进给量和背吃刀量，尽可能选用较高的切削速度。

1）背吃刀量的选择。粗加工的背吃刀量应根据工件的加工余量确定，应尽量一次走刀就切除全部加工余量。当加工余量过大、机床功率不足、工艺系统刚度较低、刀具强度不够以及断续切削或冲击振动较大时，可分几次走刀。对于切削表面层有硬皮的铸、锻件，应尽量使背吃刀量大于硬皮层的厚度，以保护刀尖。半精加工余量（1~3mm）和精加工的余量（0.1~0.5mm）可一次切除。半精车和精车时的背吃刀量根据加工精度和表面粗糙度要求由粗加工后留下的余量确定。用硬质合金车刀切削时，由于车刀刃口在砂轮上不易磨得很锋利，最后一刀的背吃刀量不宜过小，以 $a_p = 0.1$mm 为宜，否则很难达到工件的表面粗糙度要求。如果采用可转位车刀切削，精加工的余量最好根据刀片的刀尖圆角半径 R 值来确定。

2）进给量的选择。粗加工时，进给量的选择主要受切削力的限制。在工艺系统的刚度和强度良好的情况下，可选用较大的进给量。半精加工和精加工时，由于进给量对工件的已加工表面粗糙度影响很大，进给量一般取得较小。通常按照工件加工表面粗糙度的要求，根据工件材料、刀尖圆弧半径、切削速度等条件来选择合理的进给量。当切削速度提高，刀尖圆弧半径增大或刀具磨有修光刃时，可以选择较大的进给量，以提高生产率。

3）切削速度的选择。在背吃刀量和进给量选定以后，可在保证刀具合理寿命的条件下，确定合适的切削速度。粗加工时，背吃刀量和进给量都较大，切削速度受刀具寿命和机床功率的限制，一般较低。精加工时，背吃刀量和进给量都取得较小，切削速度主要受工件加工质量和刀具寿命的限制，一般取得较高。选择切削速度时，还应考虑工件材料的切削加工性等因素。例如：加工合金钢、高锰钢、不锈钢、铸铁等的切削速度应比加工普通中碳钢的切削速度低 20%~30%，加工有色金属时，则应提高 1~3 倍。在断续切削和加工大件、细长件、薄壁件时，应选用较

低的切削速度。用硬质合金车刀切削时，一般多采用较高的切削速度（80～100m/min）。用高速钢车刀切削时，宜采用较低的切削速度。

3. 车刀的种类及用途

车刀按用途可分为外圆车刀、端面车刀、切断刀、成形车刀、螺纹车刀和车孔刀等，如图1-11所示。由于车刀是由刀头和刀体组成的，故按其结构不同又可分为整体车刀、焊接车刀、机夹车刀、可转位车刀和成形车刀等，如图1-12所示。

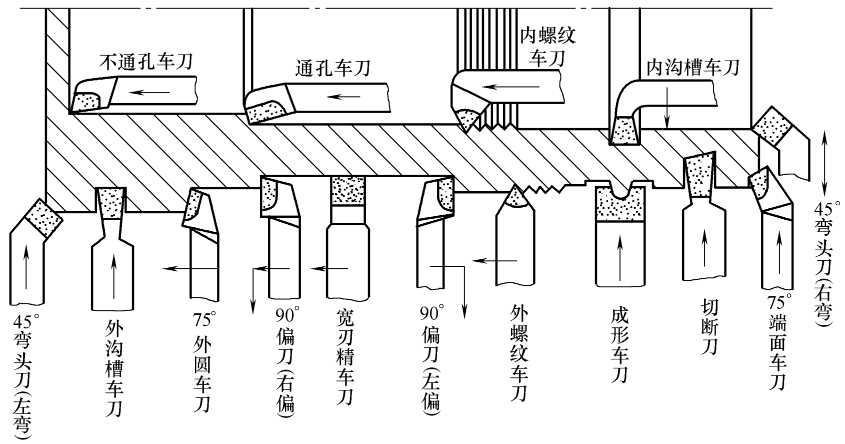


图1-11　常用车刀及其用途

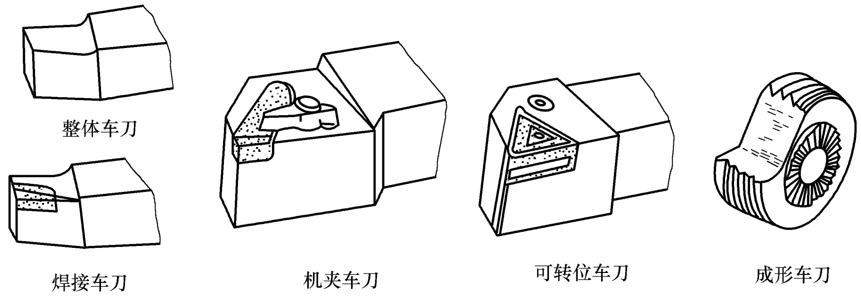


图1-12　车刀的结构

常用车刀的基本用途如下：

1）90°外圆车刀（偏刀）：用来车削工件的外圆、台阶和端面，分为左偏刀和右偏刀两种。

2）45°弯头刀：用来车削工件的外圆、端面和倒角。

3）切断刀：用来切断工件或在工件表面切出沟槽。

4）车孔刀：用来车削工件的内孔，有通孔车刀和不通孔车刀。

5）成形车刀：用来车削台阶处的圆角、圆槽或车削特殊型面工件。

6）螺纹车刀：用来车削螺纹。

4. 车床基本操作介绍

应按以下各项仔细检查无误后再起动、操作机床：

1）检查车床各变速手柄是否处于空档位置，离合器是否处于正确位置，操纵杆是否处于停止状态，确认无误后，合上车床电源总开关。

2）按下床鞍上的起动按钮（图 1-13），电动机起动。

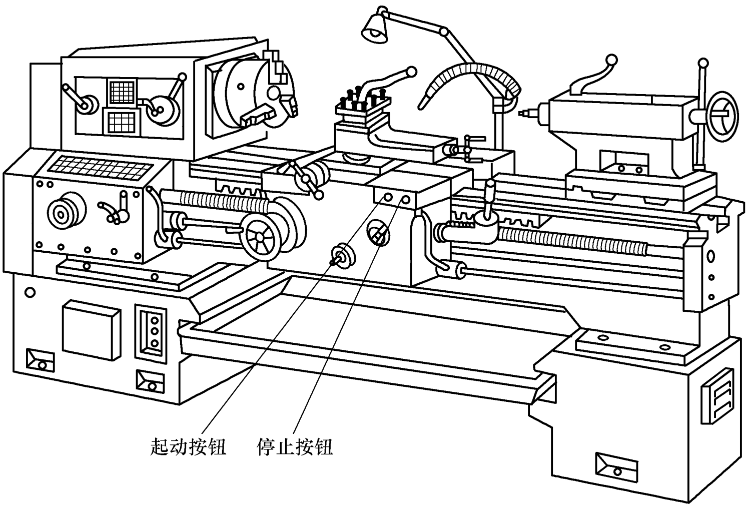


图 1-13　车床起动操作的按钮和手柄

3）向上提起溜板箱右侧的操纵杆手柄，主轴正转；操纵杆手柄回到中间位置，主轴停止转动；操纵杆手柄下压，主轴反转。

4）主轴正、反转的转换要在主轴停止转动后进行，避免因连续转换操作使瞬间电流过大而发生电气故障。

5）按下床鞍上的停止按钮，电动机停止工作。

（1）主轴箱的结构与变速操作　车床主轴变速通过改变主轴箱正面右侧两个叠套手柄的位置来控制。前面的手柄有 6 个档位，每个档位有 4 级转速，由后面的手柄控制，所以主轴共有 24 级转速，如图 1-14 所示。

主轴箱正面左侧的手柄用于螺纹的左、右旋向变换和加大螺距，共有 4 个档位，即右旋螺纹、左旋螺纹、右旋加大螺距螺纹和左旋加大螺距螺纹，其档位如图 1-15 所示。

（2）进给箱的结构与操作　CA6140 型车床进给箱正面左侧有一个手轮，手轮有 8 个档位；右侧有前、后叠装的两个手柄，前面的手柄是丝杠、光杠变换手柄，后面的手柄有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个档位与手轮配合，用以调整螺距或进给量。

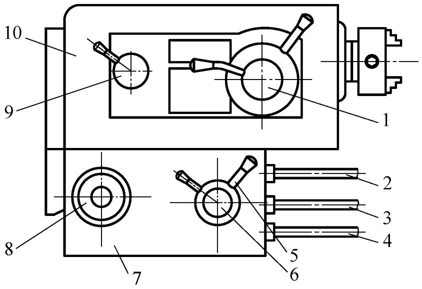


图 1-14 车床主轴的变速操纵手柄

1—主轴变速叠套手柄 2—丝杠 3—光杠 4—操纵杆
5—进给变速手柄 6—丝杠、光杠变换手柄 7—进给箱
8—进给变速手轮 9—螺纹旋向变换手柄 10—主轴箱

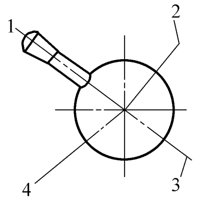


图 1-15 车削螺纹的变换手柄

1—右旋螺纹 2—左旋螺纹
3—左旋加大螺距螺纹
4—右旋加大螺距螺纹

根据加工要求调整所需螺距或进给量时，可通过查找进给箱油池盖上的调配表来确定手轮手柄的具体位置。

（3）溜板部分的结构与操作 溜板部分包括溜板箱、床鞍、中滑板、小滑板及刀架等，如图 1-16 所示。

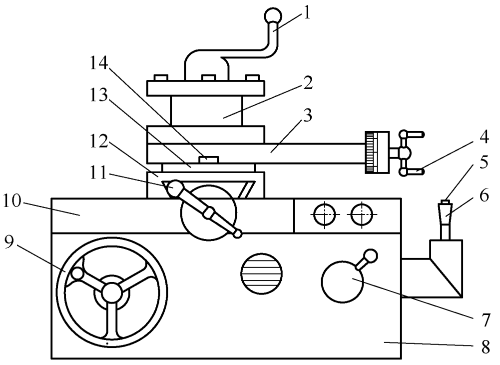


图 1-16 溜板部分

1—刀架手柄 2—刀架 3—小滑板 4—小滑板手柄 5—快进按钮 6—自动进给手柄 7—开合螺母手柄 8—溜板箱 9—大手轮 10—床鞍 11—中滑板手轮 12—中滑板 13—分度盘 14—锁紧螺母

溜板部分实现车削时绝大部分的进给运动：床鞍及溜板箱做纵向移动，中滑板做横向移动，小滑板可做纵向或斜向移动。进给运动有手动进给和机动进给两种方式。

1）床鞍及溜板箱的纵向移动由溜板箱正面左侧的大手轮控制。顺时针方向转动手轮时，床鞍及溜板箱向右运动；逆时针方向转动手轮时，床鞍及溜板箱向左运动。手轮轴上的刻度盘圆周等分 300 格，手轮每转过 1 格，床鞍及溜板箱纵向移动 1mm。

2）中滑板的横向移动由中滑板手柄控制。顺时针方向转动手柄时，中滑板向远离操作者方向运动（即横向进刀）；逆时针方向转动手柄时，中滑板向靠近操作者方向运动（即横向退刀）。中滑板丝杠上的刻度盘圆周等分 100 格，手柄每转过 1 格，中滑板横向移动 0.05mm。

3）小滑板在小滑板手柄的控制下可做短距离的纵向移动。小滑板手柄顺时针方向转动时，小滑板向左运动；小滑板手柄逆时针方向转动时，小滑板向右运动。小滑板丝杠的刻度盘圆周等分 100 格，手柄每转过 1 格，小滑板纵向（或斜向）移动 0.05mm。小滑板的分度盘在刀架需斜向进给车削短圆锥体时，可顺时针方向或逆时针方向在 90°范围内偏转所需角度，调整时，先松开锁紧螺母，转动小滑板至所需角度位置后，再锁紧锁紧螺母将小滑板固定。

4）CA6140 型车床的纵、横向机动进给和快速移动采用单手柄操纵。自动进给手柄在溜板箱右侧，可沿十字槽纵、横扳动，手柄扳动方向与刀架运动方向一致，操作简单、方便。手柄在十字槽中央位置时，停止进给运动。在自动进给手柄顶部有一快进按钮，按下此按钮，快速电动机工作，床鞍或中滑板按手柄扳动方向做纵向或横向快速移动，松开按钮，快速电动机停止转动，快速移动中止。

5）溜板箱正面右侧有一开合螺母操作手柄，用于控制溜板箱与丝杠之间的运动联系。车削非螺纹表面时，开合螺母手柄位于上方；车削螺纹时，顺时针方向扳下开合螺母手柄，使开合螺母闭合，并与丝杠啮合，将丝杠的运动传递给溜板箱，使溜板箱、床鞍按预定的螺距（或导程）做纵向进给。车完螺纹应立即将开合螺母手柄扳回原位。

（4）尾座的结构与操作　CA6140 型车床尾座如图 1-17 所示。

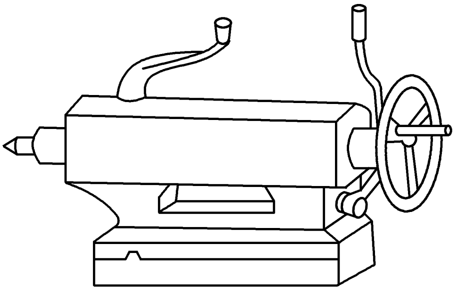


图 1-17　尾座

1）手动沿床身导轨纵向移动尾座至合适位置，逆时针方向扳动尾座固定手柄，将尾座固定。注意移动尾座时用力不要过大。

2）逆时针方向移动套筒固定手柄（松开），摇动手轮，使套筒做进、退移动。顺时针方向转动套筒固定手柄，将套筒固定在选定的位置。

3）擦净套筒内孔和顶尖锥柄，安装后顶尖；松开套筒固定手柄，摇动手轮使套筒后退并退出后顶尖。

1.2　工艺分析与工序设计

产品加工质量的优劣，在很大程度上取决于工件加工的工艺方法。而正确的工艺分析则为制订加工工艺提供了各种依据。因此，较高的工艺分析能力是高级车工必须具备的基本素质之一。

加工工件前，通常要进行读图、工艺分析、设计工序与工步等工作，如图 1-18 所示。

1.2.1　读图

图 1-18　加工工件前的技术准备工作

加工工件前，通常首先要进行零件图识读，接着对工件进行工艺分析并设计好工件的加工工序与工步等。

在制造过程中，读零件图是一项非常重要的工作。因为任何机械都是由许多零件组成的，制造机器就必须先制造零件。因此零件图是设计部门提交给生产部门的技术文件，它反映了设计的意图，表达了机器对零件的要求。同时也是操作者加工工件的依据。

读零件图包括读工件蓝图和加工工艺卡片等工艺文件。

1. 读零件图的基本要求

1）了解零件的名称、材料和用途。

2）弄清零件的结构形状。

3）分析尺寸基准及尺寸标注。

4）了解零件的制造方法和技术要求及加工工艺。

2. 读零件图的方法与步骤

1）看标题栏 。从标题栏入手，了解零件的名称、材料、重量和画图比例等。

2）分析表达方案。分析表达方案是读零件图的重要一环。读零件图时，先要找出主视图，然后看用多少个图形、用什么表达方法，以及各视图间的关系。分析表达方案可按以下顺序进行：

① 找出主视图。

② 查看有多少视图、剖视图、断面图等。还要找出它们的名称、相互位置和投影关系。

③ 有剖视、断面的地方要找到剖切平面的位置。

④ 有局部视图、斜视图的地方，必须找到表示投影部位的字母和表示投影方向的箭头。

⑤ 查看有无局部放大图及简化画法。

3）分析形体。进行形体分析的目的是想象出整个零件的结构形状，这一步可按以下顺序进行：

① 先看大致轮廓，再分几个较大的独立部分进行形体分析，逐个看懂。

② 对外形和内部结构进行分析，逐个看懂。

③ 对个别不便于进行形体分析的部分进行线面分析，搞清投影关系，分析出细节部分的结构。

④ 综合想象出整个零件的结构形状。

4）分析尺寸。尺寸分析可按下列顺序进行：

① 根据零件的结构特点，找出基准。

② 根据形体分析和结构分析，找出定形尺寸和定位尺寸。

③ 找出零件的总体尺寸。

5）分析技术要求。分析零件图上的表面粗糙度、尺寸偏差、几何公差以及其他技术要求的标注，可以明确零件的加工和测量方法。

1.2.2 工艺分析

1. 工艺分析内容

（1）图样结构　根据工件图样对工件的结构特点及结构工艺性进行工艺分析和审查。工件的结构工艺性是否合理，主要看工件在加工和装配过程中，能否达到方便制造、使用及维修等要求。

（2）精度、技术要求　分析审查工件尺寸精度、形状与位置精度、表面粗糙度、热处理等各项技术要求是否合理，如果要求过高，将会造成工艺过程复杂、加工困难、成本提高。

（3）加工难点　在分析了解工件的结构、精度、技术要求、表面质量等各项要求后，找出工件加工过程中的关键难点问题，准确选择各定位基准和装夹方法，拟订正确、切实可行的加工工艺方法，确保达到工件的精度、表面粗糙度和各项技术要求。

2. 工艺分析方法

工件在进行车削加工之前，应对其结构、各项技术要求进行分析，确定工件上每一被加工表面的加工方法和步骤，在分析过程中，找出此工件加工难度最大的关键问题，一项项地排列出来，然后对所排列的各项问题逐一提出解决方法和措施，使其成为编制该工件加工工序和工步的主要依据。

工艺路线确定后，必须进一步设计确定车削加工每道工序的具体内容和具体要求，选用车床和工艺装备。在此环节，每道工序安排的加工工步是至关重要的。例如：工件有几何公差和较高尺寸精度要求时，在加工工步中，就应充分考虑到工件因切削力、切削热和加工工步不当所造成的几何公差和尺寸精度超差等。另外，设计工序与工步时，还应依据生产类型（即大批、成批和单件生产）、工装夹具情况进行综合考虑，使设计的工序与工步不但能满足工件的加工技术要求，而且还能获得较高的生产率和较低的生产成本。

1.2.3 定位基准的选择

1. 粗基准的选择

选择粗基准主要考虑的问题是对后面各工序各加工表面余量的分配、工件加工好后壁厚均匀、外形美观及加工表面与非加工表面的相对位置等因素，因此，选择粗基准时，要遵循以下原则：

1）为了保证加工面与非加工面之间的位置要求，应选择非加工面为粗基准。

没有非加工表面时，应选择余量小的和面积大的表面作粗基准。

例如图 1-19 所示的毛坯，铸造、锻造时孔和外圆都存在不同程度的同轴度误差。此时应采用非加工面为粗基准，则加工后的孔和外圆的轴线是同轴的，即壁厚是均匀的，但必须注意加工余量。

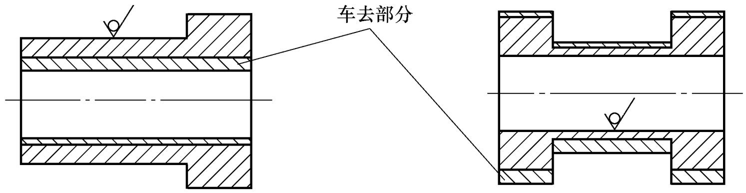


图 1-19　铸造、锻造毛坯

2）合理分配各加工面的余量。在分配余量时，应考虑以下两点：

① 为了保证各加工表面都有足够的加工余量，或者工件没有非加工表面时，应选择毛坯余量最小和面积大的表面为粗基准。

② 应选择工件的重要加工面为粗基准，这样就能保证重要加工面的余量均匀。

例如：刨削车床床身时，要以车床的导轨面为粗基准，先刨削加工车床床腿，然后以床腿底面为基准，只需要刨去较少余量就能将导轨面全部刨出，这样就保证了轨道面加工余量的均匀程度。

3）粗基准应避免重复使用，在同一尺寸方向上，通常只允许用一次，否则将出现较大的位置误差。

4）选择粗基准的表面应面积大、平整光洁，要避开锻造飞边和铸造浇冒口、分型面、毛刺等缺陷，以保证定位准确、夹紧可靠。

2. 精基准的选择

精基准用于中间工序和最终工序中，应采用工件已加工表面作精基准，主要考虑如何减小定位误差、提高定位精度。因此，选择精基准时，应尽可能按照下列原则进行：

（1）基准重合原则　选择工件的设计基准作为定位基准，即基准重合原则。

（2）基准统一原则　在工件的加工过程中尽可能地采用统一的定位基准，称为基准统一原则。

当采用基准统一原则后，无法保证表面间的位置精度，往往是先用基准统一原则，然后在最后工序中用基准重合原则保证表面间的位置精度。

（3）自为基准原则　当某些表面精加工要求加工余量小而均匀时，选择加工表面本身作为定位基准称为自为基准原则。遵循自为基准原则时，可以降低劳动强度，不能提高加工面的位置精度，只是提高加工面本身的精度。

（4）互为基准原则　为了使加工面间有较高的位置精度，又为了使其加工余量

小而均匀，可采用反复加工、互为基准的方法加工。

（5）保证工件定位准确、夹紧可靠、操作方便的原则　所选精基准应能保证工件定位准确、稳定、夹紧可靠。精基准应该是精度较高、表面粗糙度值较小、支承面积较大的表面。

技能大师经验谈：

上述每个原则，都是说明一个方面的问题，但工件的形状、结构、精度、技术要求等各不相同，因此，在实际应用上述原则时，往往会出现相互矛盾的情况，这就要全面考虑，保证解决工件加工中的主要问题，灵活运用，防止生搬硬套。

1.2.4　加工工序的设计

设计加工工序应遵循的原则：

1）对有形状、位置精度要求的工件，尽可能在同一次安装下完成。在毛坯尺寸和车削加工条件允许的情况下，尽量一次安装，完成各有关加工表面车削（俗称“一刀下”）。如在一次安装下，外圆与端面的垂直度、孔与轴的同轴度等，应很容易达到图样几何公差的加工要求；否则在调头时，必须增加用以保证几何精度的精基准、找正方法或夹具来加以补救。

2）严格遵循定位基准的选择原则。尽可能减小因基准位移和基准不重合所造成的误差。

3）先外后内。对有配合要求的组合工件，应先加工需配合组合件的外圆、外螺纹、外圆锥等基准工件，再加工配合孔。其理由是：外圆加工便于检测、控制尺寸精度；可以用加工好的基准工件作为对配工件的塞规和检验用具，从而较方便、准确地控制配合精度。

4）先粗车，去除大量毛坯

即当工件毛坯尺寸较大时，应先集中进行粗加工，特别是钻大孔，然后安排半精车、精车；这样可大幅度地减小因车削毛坯时产生的热效应而造成的工件热变形。

5）结合加工实际条件进行设计

应结合生产批量、车床的特性和精度、夹具、刀具和量具等实际条件进行设计。切忌脱离现实，盲目追求使用高精度设备，用复杂、精密夹具加工一般单件工件等不良做法。

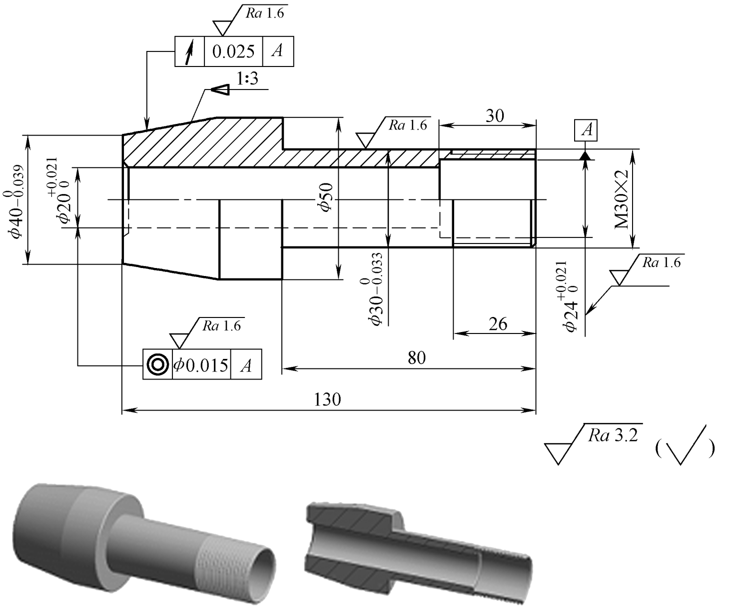
技能大师经验谈：

合理地选择定位基准，对保证工件加工质量和确定加工顺序有着决定性的影响，因此，它是工艺分析的一项主要内容，是制订工艺路线时要解决的主要问题。

加工实例　根据图 1-20 所示定位套进行工艺分析与工序设计。

1. 主要技术要求与工艺分析

主要技术要求：尺寸精度要求共四处；位置公差有两处。



技术要求
1.未注倒角C1。
2.锐边倒钝C0.5。

材料	45
数量	1000件
毛坯尺寸	φ55mm×140mm

图 1-20　定位套

工艺分析：

1）该工件为套类工件，刚性较差，存在着因切削力、切削热以及装夹等因素造成变形的可能性。因此，在设计工序时，应先进行粗车，去除毛坯余量后，再精车加工。

2）此工件各有一处同轴度和跳动要求，如果工序安排不合理，则难以保证几何公差的精度。可采用一次装夹完成的方法，即精车完 $\phi 20^{+0.021}_{0}$mm 孔后，再精车 $\phi 24^{+0.021}_{0}$mm 台阶孔；对于此批量较大的工件，车削 1∶3 锥面时，则可通过调头，采用心轴定位的方法精车锥面，如图 1-21 所示。这样可有效地保证基准轴线的跳动要求和锥面小端尺寸的测量问题。

3）孔的尺寸精度要求较高，表面粗糙度值较小，长径比较大。选择内孔精车刀时，刀杆既要尺寸适合、强度高；又要与孔壁间有较充裕的排屑空间，防止铁屑拉伤孔壁。此外，选择合理的车刀角度、正确刃磨好内孔精车刀、选择合理的切削速度并充分浇注冷却液是车好内孔的重要保证。

4）工件所有的尺寸均可通过常规测量方法进行检测。但 1∶3 锥面小端的直径却要通过标准圆柱配合外径千分尺来测量，这样才能保证尺寸精度。

2. 参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

车夹持位→调头，粗、精车各台阶及普通螺纹→调头，定总长；粗车圆锥面→精车圆锥面→检验。

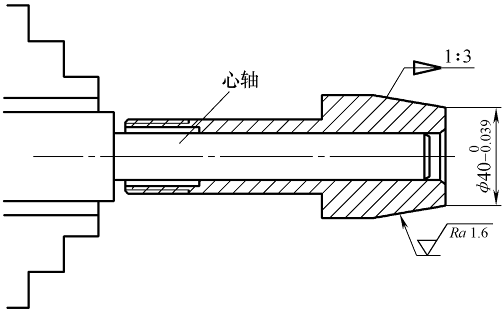


图 1-21　利用心轴定位调头车圆锥

1）车夹持位，用自定心卡盘夹持，车长度为 30mm 的夹持位。

2）调头，车端面，总长留余量 2～3mm；钻 A2.5mm 工艺中心孔；采用一夹一顶的方法粗、半精车外圆各尺寸；车 M30×2 普通螺纹，用螺纹环规检查。

3）卸下顶尖，钻孔；粗车孔；在确认工件温度达到室温时，再依次精车 $\phi30^{\ 0}_{-0.033}$mm 外圆、$\phi20^{+0.021}_{\ 0}$mm 孔，最后车削 $\phi24^{+0.021}_{\ 0}$mm 台阶孔。

4）调头，包纯铜皮夹持 $\phi30^{\ 0}_{-0.033}$mm 外圆，定总长，粗、精车外圆锥面。

技能大师经验谈：

1）$\phi20^{+0.021}_{\ 0}$mm 孔、$\phi24^{+0.021}_{\ 0}$mm 台阶孔、$\phi30^{\ 0}_{-0.033}$mm 外圆是在同一次装夹下完成的，均可作为精车圆锥面的精基准。因此，可采用精度较高的弹簧夹头或软爪夹持 $\phi30^{\ 0}_{-0.016}$mm 外圆，该方法适用于批量生产。但在加工前三件时，必须用百分表检查外圆的跳动情况。另一种方法是采用心轴，利用 $\phi20^{+0.021}_{\ 0}$mm 孔定位。心轴长度为 60～70mm，外圆加工至 $\phi20^{+0.021}_{\ 0}$ mm，用砂布抛光，使其具有 0.01～0.02mm 的顺锥。将工件轻拧上心轴即可精车圆锥和 $\phi50$mm 外圆。此时注意：心轴上一定要涂抹一层薄薄的机械油才可拧上工件，否则极易拉伤孔的已加工面。尽管此时定位精度较高，但在装好后，仍应检查外圆跳动情况。

2）采用标准圆棒、平铁、外经千分尺配合，检验圆锥小端尺寸。

1.3　车工用先进、新型刀具

熟练掌握各种先进刀具，如机夹可转位刀具、涂层刀具、金刚石刀具、立方氮化硼刀具和陶瓷刀具等的性能、种类及应用范围，以及麻花钻的改进方法、群钻的刃磨，是车工必须具备的基本功之一。

1.3.1　可转位车刀

可转位车刀是把压制有几个切削刃，并有合理几何参数的刀片，用机械夹固方式，装夹在刀杆（或刀体）上的一种刀具。可转位车刀与焊接式车刀相比有以下

优点。

（1）刀片呈一定形状的多边形　当切削刃磨损后，不必重磨刀片，只要将刀片转过一个角度至另一新切削刃，就可使用，因此缩短了换刀、磨刀的辅助时间。

（2）刀片不用焊接固定　可避免因焊接造成的内应力及裂纹，充分发挥刀片材料原有的切削性能，提高刀具寿命。

（3）刀片不需重磨　有利于涂层材料的推广应用，以进一步提高切削效率及刀具寿命。

（4）卷屑槽在刀片制造时压制成形　槽型尺寸稳定，断屑可靠，有利于保证加工质量。

（5）刀杆或刀体能够多次使用　这样可节约刀体材料，便于刀具标准化，简化刀具管理工作。

1. 可转位车刀的组成

可转位车刀由刀杆、夹紧机构、刀片和刀垫组成，如图 1-22 所示。

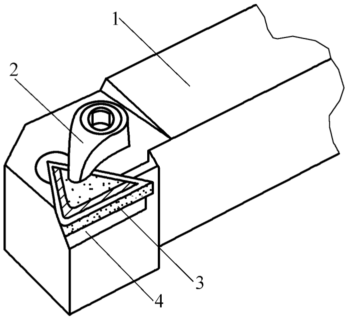


图 1-22　可转位车刀
1—刀杆　2—夹紧机构
3—刀片　4—刀垫

（1）刀片　刀片的材料有硬质合金和陶瓷两种。根据国家标准规定，刀片的型号用代表一给定顺序位置排列组成，共有十个号位，分别表示刀片的形状、法后角、精度等级、结构特征、切削刃长度、刀片厚度、刀尖圆弧半径、刃口形式、切削方向和断屑槽型号和宽度。

例如：

TNUM160308ER-A4

T N U M 16 03 08 E R- A4

- A4 —— 断屑槽型号 A 型、宽度为 4mm
- R —— 切削方向为右向切削
- E —— 切削刃截面为钝圆切削刃
- 08 —— 刀尖圆弧半径为 0. 8mm
- 03 —— 刀片厚度为 3. 18mm
- 16 —— 刀片切削刃长度为 16. 5mm
- M —— 刀片单面有断屑槽、中心孔
- U —— 刀片精度等级为普通级
- N —— 刀片法后角为 0°
- T —— 刀片形状为正三角形

刀片的形状代号共有 17 种。常用的有正三角形（T）、正方形（S）、带副偏角的三角形（F）和凸三边形（W）。刀片法后角代号共 9 种，应用最广的为 N 型

$\alpha_o=0°$。刀片精度等级代号共 11 种，其中 A、F、C、H、E、G、J、K、L 属精密级，M 属中等级，U 属于应用最广的普通级。关于可转位刀片型号中各位字母或数码表达的意义和方法，详见标准 GB/T 2076—2007。

刀片的型号应根据加工条件、工件材料进行选择。

（2）刀杆　用于装夹刀片并装夹在刀架上，刀杆上的刀片槽用来放置并保证刀片的定位。可转位车刀的各个主要角度，正是由刀片安装在具有一定几何角度的刀片槽上形成的。刀杆上刀片槽的几何参数要根据所选刀片的角度来确定。刀杆材料选用 45 钢，硬度为 35~40HRC。

（3）刀垫　采用刀垫便于调整可转位车刀刀尖位置；保护刀杆，防止打刀时损坏刀杆。正常切削时，防止切屑擦伤刀杆，刀垫材料选用 GCr15、YG8 或 W18Cr4V。

2. 可转位车刀刀片的定位夹紧机构

（1）对刀片定位夹紧机构的要求　刀片的定位夹紧机构应满足下列要求：

1）定位夹紧可靠，在切削阻力的冲击和振动下，定位准确并无松动。

2）刀片转位或更换时，松开或夹紧的操作简便。

3）排屑流畅，不会损伤定位、夹紧元件及刀杆。

4）结构简单紧凑，便于制造。

（2）刀片定位形式　刀片定位形式应力求使刀片转位后刀尖位置的变动量尽可能小。常用定位形式有以下四种：

1）用刀片的底面及两相邻侧面定位。如图 1-23 所示，这种定位形式使刀尖位置精度仅与刀片本身的外形尺寸精度有关，所以定位精度较高。上压式和销式夹紧的刀片常用这种形式定位。

2）用刀片的底面、一个侧面与活动中心销相配合的孔定位。如图 1-24 所示。这种定位形式使刀尖的位置精度与刀片的外形尺寸精度、刀片中心孔精度、活动中

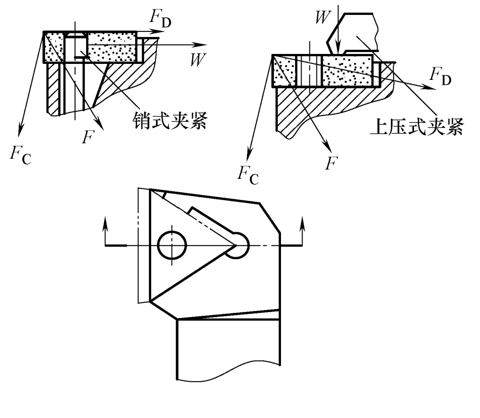


图 1-23　用刀片底面及两相邻侧面定位

F_C、F_D—切削分力

F—总切削力　W—夹紧力

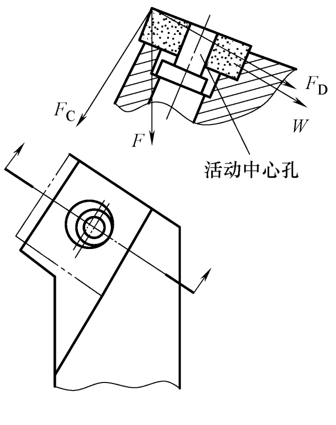


图 1-24　用刀片的底面、一个侧面与活动中心销相配合的孔定位

F_C、F_D—切削分力　F—总切削力　W—夹紧力

心销的尺寸精度及配合精度有关。优点是结构较简单，刀片槽加工方便。偏心销夹紧的刀片常用这种形式定位。

3）用刀片的底面、中心孔及一个与夹紧元件相贴合的侧面定位。如图 1-25 所示，这种定位形式使刀尖的位置精度与刀片的外形尺寸精度、内孔的尺寸与位置精度及固定中心销的尺寸精度有关，定位精度比上面的形式好，结构也比较简单，缺点是夹紧力与切削力方向相反，需要夹紧力大。楔销式夹紧的刀片常用这种定位形式。

4）用刀片的底面、中心孔及一个侧面定位。如图 1-26 所示，这种定位形式的刀尖位置精度与第三种形式类似，但受力情况较好，需要的夹紧力小，但注意侧面定位点的位置不应损伤刀片待用刀尖。

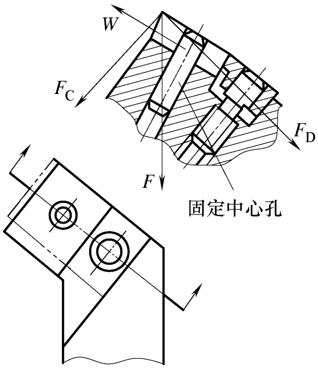


图 1-25　用刀片的底面、中心孔及一个与夹紧元件相贴合的侧面定位

F_C、F_D—切削分力　F—总切削力　W—夹紧力

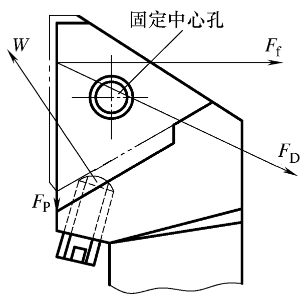


图 1-26　用刀片的底面、中心孔及一个侧面定位

F_f、F_P、F_D—切削分力　W—夹紧力

（3）刀片夹紧形式　可转位车刀的常用夹紧形式有以下几种：

1）上压式。如图 1-27 所示，利用压板向下的压力将刀片压紧在刀片槽中。它的特点是夹紧力大，定位稳定可靠，结构简单，使用方便，可夹紧不带中心孔的刀片。缺点是刀头体积大，影响操作视线。这种夹紧形式适用于大、中型车床及断续切削。

2）偏心销式。如图 1-28 所示，利用偏心夹紧的原理，当旋紧偏心销（带螺纹或不带螺纹）时，其偏心将刀片夹紧在刀片槽内且能自锁。优点是结构简单紧凑，元件少，制造方便，刀片转位方便迅速。缺点是当冲击载荷较大时，夹紧不大可靠，偏心销松紧不太方便，适用于小型车刀。

3）杠销式。如图 1-29 所示，利用杠杆原理，当螺钉加力压在杠销的下端时，杠销以刀杆孔壁接触点为支点，将刀片压紧在刀片槽的侧面。它的优点是夹紧力方向稳定，定位精度高，结构不太复杂。缺点是杠销刚性差，夹紧行程小，主要适用

于中、小型车刀。

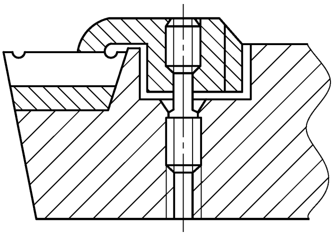


图 1-27　上压式夹紧

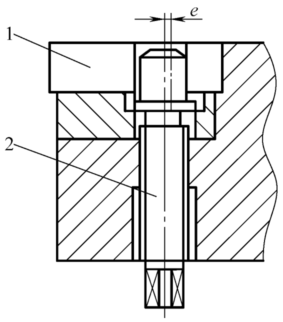


图 1-28　偏心销式夹紧
1—刀片　2—偏心销

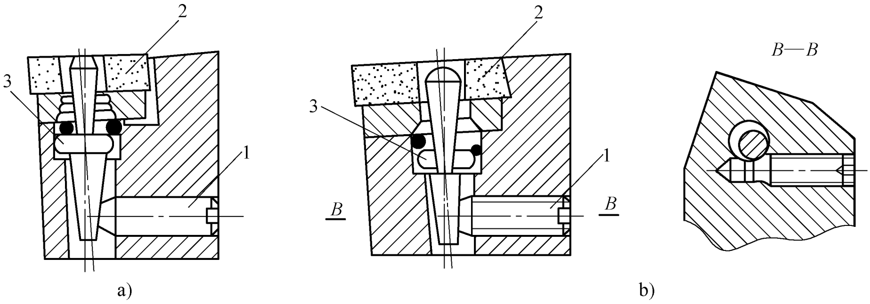


图 1-29　杠销式夹紧
a）直接加力　b）切向加力
1—螺钉　2—刀片　3—杠销

4）杠杆式。如图 1-30 所示，这种夹紧方式也是利用杠杆原理，旋紧螺钉压迫杠杆摆动，将刀片松开或夹紧。优点是夹紧稳定可靠，定位精度较高，夹紧行程也较大，刀片转位方便。缺点是结构复杂，制造困难。适用切削用量为：$v_c=80\sim100$m/min，$f=0.4\sim0.6$mm/r，$a_p\leqslant8$mm。

5）楔销式。如图 1-31 所示，这种夹紧方式是使用螺钉压紧楔块，在楔块的作用下将刀片压向固定中心销。它的特点是结构简单，夹紧力大，制造和使用方便。缺点是中心销易变形，定位精度低，结构不如杠杆式紧凑。适用切削用量为：$v_c\leqslant120$m/min，$f\leqslant0.8$mm/r，$a_p=4\sim6$mm。

6）复合式。如图 1-32 所示，这种夹紧方式是采用两种夹紧形式同时夹紧刀片的复合结构，如楔压复合式（图 1-32a）和拉压复合式（图 1-32b）等。它夹紧可靠，能承受较大的切削负载及冲击，适用于重负荷车削。

3. 机夹车刀的使用

（1）90°可转位细长轴粗车刀　如图 1-33 所示，刀具特点如下：

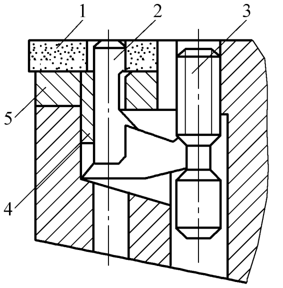


图 1-30　杠杆式夹紧

1—刀片　2—杠杆　3—螺钉

4—弹簧套　5—刀垫

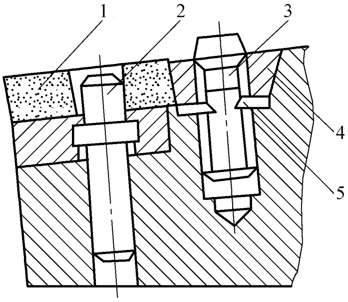


图 1-31　楔销式夹紧

1—刀片　2—螺钉　3—销

4—楔块　5—垫圈

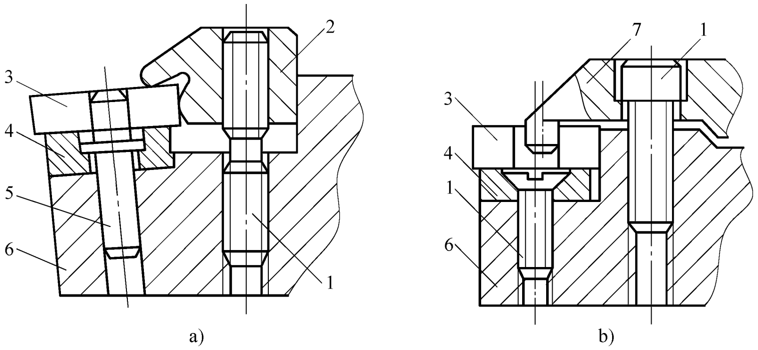


图 1-32　复合式夹紧

a）楔压复合式　b）拉压复合式

1—螺钉　2—特殊楔块　3—刀片　4—刀垫　5—定位销　6—刀杆　7—拉压板

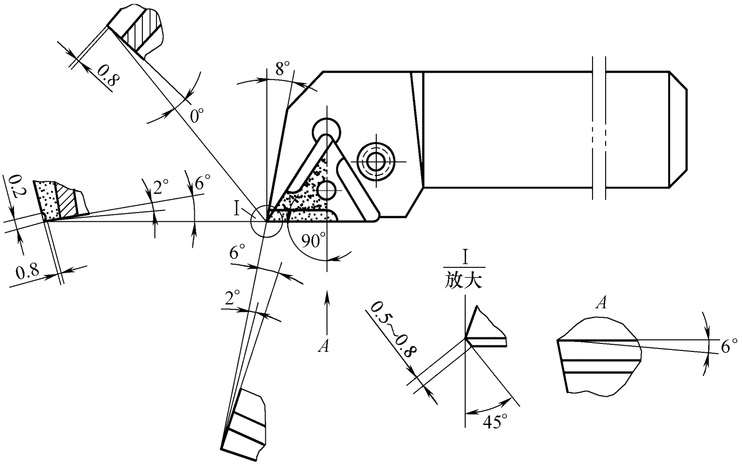


图 1-33　90°可转位细长轴粗车刀

1）刀片材料：YT15 硬质合金。

2）刀具特点：针对细长轴车削的特点，吸取焊接式车刀加工细长轴的经验，对标准 90°可转位外圆车刀的部分几何角度改进而成。

① 减小后角，在刀片上磨出实际后角为 2°、宽 0.8mm 的棱边。

② 采用带副偏角的三角形刀片，并在副后面上也磨出实际副后角为 2°、宽 0.8mm 的棱边。

③ 磨出宽 0.5~0.8mm，过渡刃偏角为 45°的过渡刃，过渡刃后角为 0°。

④ 主切削刃上磨出 b_{r1} = 0.2mm、γ_{o1} = −10°的倒棱。

3）切削用量：v_c = 80~90m/min，f = 0.3~0.4mm/r，a_p = 5~6mm。

4）适用范围：在 C630 型车床（加长）上粗车长径比 L/d = 30~40 的细长轴。

5）使用效果：

① 切削平稳，不产生振动。

② 工件加工后的圆柱度误差可在 0.1mm 之内。

③ 一个切削刃可车削加工前尺寸为 ϕ70mm×1890mm，加工后尺寸为 ϕ58mm×1890mm 的细长轴 6~8 件。

（2）可调式机夹切断刀　如图 1-34 所示。刀具特点如下：

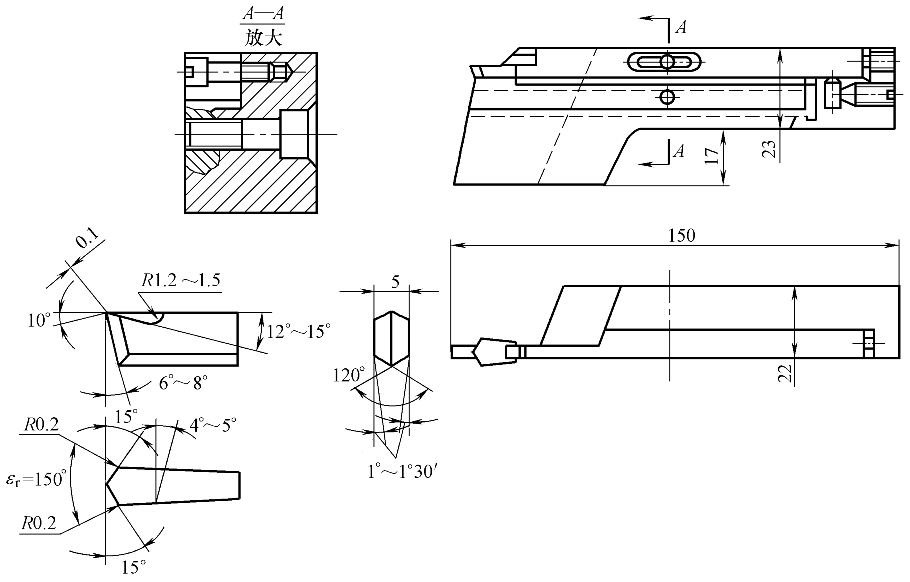


图 1-34　可调式机夹切断刀

1）刀片材料：YT15 硬质合金。

2）刀具特点：

① 采用杠杆式夹紧刀片，结构简单，制造方便。

② 刀片与刀垫采用 120°V 形槽定位，稳定性好。

③ 刀片及压刀杆位置可调节，因而刀片可多次刃磨，刀杆不易损坏。

④ 刀尖角 $\varepsilon_r = 150°$，切削刃强度高，切断时刀头不易歪斜，同时可使切屑变窄。

⑤ 前角 $\gamma_o = 12° \sim 15°$，并磨有圆弧断屑槽，使切削轻快，排屑顺利，适于高速切断。

3）切削用量：$v_c = 150 \sim 200\text{m/min}$，$f = 0.15 \sim 0.2\text{mm/r}$。

4）适用范围：在 CA6140 型或 C630 型车床上切断材料为 20 钢、45 钢，直径小于 80mm 的工件，并浇注乳化液。

5）注意事项：

① 刀具安装时，刀尖应低于工件轴线 0.1mm。

② 在切断时先用手动进给，使刀片预热，再自动进给，这样能防止刀片因突然升温而碎裂。

（3）90°机夹集屑车刀　如图 1-35 所示。刀具特点如下：

1）刀具材料：刀片为 YG8 硬质合金；刀体为 45 钢，热处理调质，230～250HBW。

2）刀具特点：

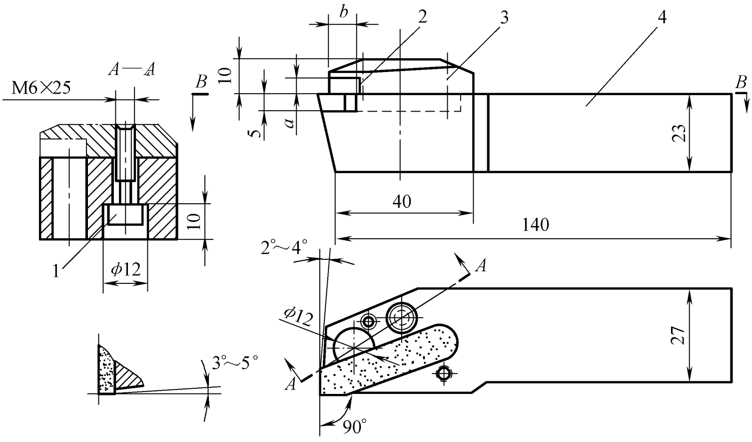


图 1-35　90°机夹集屑车刀

1—螺钉　2—集屑口　3—压板　4—刀体

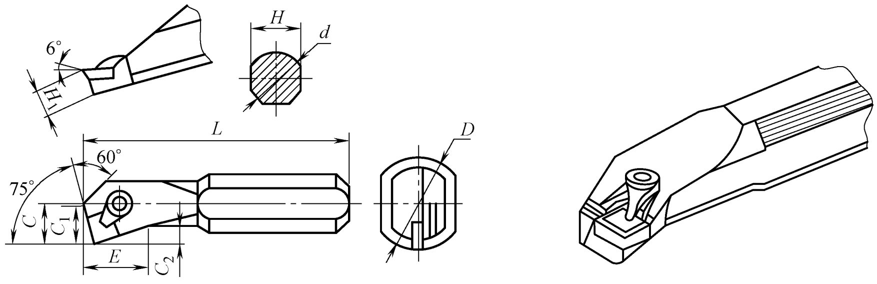
① 使用压板夹紧，结构简单、制造方便。

② 切削铸铜、铸铁等脆性材料时，切屑经集屑口并从 ϕ12mm 集屑孔中排出，避免切屑飞溅，确保安全操作。

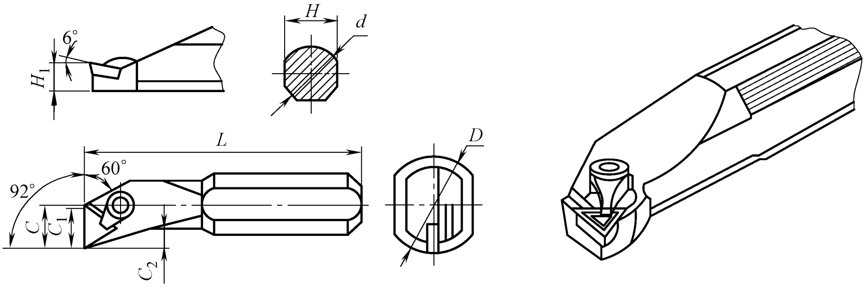
3）切削用量。粗车时（集屑口尺寸 $a \times b = 3.5\text{mm} \times 10\text{mm}$）：切削速度 $v_c = 150\text{m/min}$，进给量 $f = 0.15 \sim 0.3\text{mm/r}$，背吃刀量 $a_p = 4 \sim 5\text{mm}$；精车时（集屑口尺寸 $a \times b = 1\text{mm} \times 4\text{mm}$）：$v_c = 180\text{m/min}$，$f = 0.06 \sim 0.18\text{mm/r}$，$a_p = 0.12 \sim 0.30\text{mm}$。

4）适用范围：在 C6140 型车床上车削铸铜、铸铁等脆性材料。

（4）可转位车孔刀　如图 1-36 所示。刀具特点如下：



a)



b)

图 1-36　可转位车孔刀

a）通孔车刀　b）不通孔车刀

1）增加刀杆的截面面积。由于刀尖位于刀杆中心平面上，这样刀杆在孔中的截面面积可达到最大程度，车孔刀的刚性好。

2）刀杆的伸出长度可调节。车孔刀的刀杆上下是两个平面，而且刀杆做得较长，车孔时可根据不同的孔深调节刀杆在刀架上伸出的长度，这样不但增加了刀杆刚性，而且使车孔刀的适用范围增大。

车孔刀的各部尺寸见表 1-2。

表 1-2　车孔刀的各部尺寸　（单位：mm）

最大车孔直径 D	刀杆尺寸							
	d	L	H	H_1	C	C_1	C_2	E
12	10	125	9.5	4.5	8.7	6.5	1.5	—
16	12	140	11.5	5.5	11.8	9	3	—
20	16	160	14	7	14	11	4	15
34	25	220	23	11.5	19.3	18	8	21
43	32	250	30	15	22.5	21.3	9	23
50	40	315	37	18.5	28	23.5	10.5	23
63	50	400	47	23.5	36	27.2	12.5	24

1.3.2　涂层刀具

为了提高刀具性能，通过涂层的方法在韧性较好的刀具基体上，涂覆一层或多层耐磨性好的难熔化合物，将刀具基体与硬质涂层相结合，以此提高刀具的表面硬度，改善刀具的耐磨性、润滑性。

根据涂层刀具基体材料的不同，涂层刀具可分为高速钢涂层刀具、硬质合金涂层刀具、陶瓷涂层刀具、金刚石涂层刀具和立方氮化硼涂层刀具等。硬质合金涂层刀具就是通过化学气相沉积和真空溅射等方法，在硬质合金刀片表面喷涂一层厚度为5~12μm以下的TiC、TiN或A3120等化合物材料。根据涂层方法不同，涂层刀具可分为化学气相沉积（CVD）涂层刀具和物理气相沉积（PVD）涂层刀具。在硬质合金刀具基体上，涂层一般采用化学气相沉积法（CVP法），沉积温度为1000℃左右，在高速钢刀具基体上涂层一般采用物理气相沉积法（PVD法），沉积温度为500℃左右。

涂层刀具具有较高的抗氧化性能和黏结性能，既保持了基体良好的韧性和较高的强度，又具有涂层的高硬度、高耐磨性和低摩擦因数，降低了切削力和切削温度。在硬质合金刀具基体上涂上5~6μm厚的TiC涂层后，其表层硬度可高达2500~4200HV。

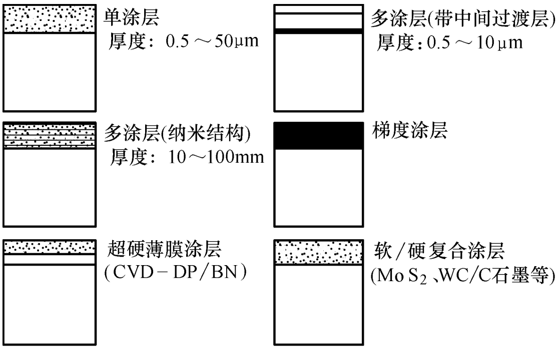


图1-37　典型的涂层结构

涂层方式有单涂层、多涂层、梯度涂层、超硬薄膜涂层、软/硬复合涂层等，如图1-37所示。

常用的涂层材料是TiC、TiN、TiCN、Al_2O_3等，涂层材料已由最初的TIC和TiN涂层发展到复合多涂层，如TiC、TiN、TiCN、TiC/TiCN/TiN、TiC/A1203、TiC/A1203/TiN、TRAIN等及其组合。它们的共同特点就是硬度很高、化学稳定性好、抗扩散磨损、摩擦因数小，从而使切削力较小，切削温度降低，使刀具的切削性能显著提高。

TiC涂层是目前应用最多的一种涂层材料，有良好的抗磨损和抗月牙洼磨损能力。容易扩散到基体内，与基体粘结牢固，在低切削温度下有较高的耐磨性。通常用于产生剧烈磨损材料的场合。

TiN涂层的硬度稍低于TiC，对金属的亲和力小，润湿性能好。目前，工业发达国家TiN涂层高速钢刀具的使用率已占高速钢刀具的70%，具有较高的抗月牙洼磨损的能力，与基体粘结牢固程度较差。

Al_2O_3 涂层具有良好的化学稳定性、热稳定性和较高的抗氧化性。Al_2O_3 涂层在高温下能保持良好的化学稳定性和热稳定性，适用于高速切削。

TiCN 涂层具有 TiC 和 TiN 的综合性能，其硬度高于 TiC 和 TiN。为了显著提高刀具的寿命，可将 TiCN 用于刀具的主耐磨层。TiCN 是一种较为理想的刀具涂层材料。

TiAlN 涂层化学稳定性好，硬度高，抗氧化、抗粘接和抗扩散磨损能力强。在高速切削时，效果明显。特别适合于加工耐磨材料，如灰铸铁、硅铝合金等。

目前，国外涂层硬质合金可转位刀片的涂层比例在 70%以上，广泛用于各种钢件、铸铁和不锈钢、高温合金的加工。目前，涂层技术已应用于立铣刀、剃齿刀、插齿刀、成形拉刀、铰刀、齿轮滚刀及各种机夹可转位刀片中，以满足高速切削加工的需要。

1.3.3 金刚石刀具

金刚石是碳的同素异构体，它是自然界已经发现的最硬的一种材料。金刚石刀具具有高硬度、高耐磨性和高导热性能，能精密切削有色金属、合金及高硬度的耐磨材料，尤其用在铝和硅铝合金高速切削加工中（表 1-3）。金刚石刀具是难以替代的主要切削刀具。

表 1-3 适合用金刚石刀具加工的材料

被加工材料		加工对象
非铁金属	铝及铝合金	飞机、汽车、摩托车：活塞、气缸、压缩机零件、传动箱、各种壳体零件等 精密机械：照相机、复印机、计量仪器、燃气具等 通用机械：各种泵体、油压机、机械零件等
	铜及铜合金	内燃机、船舶：各种轴、轴瓦、泵体、齿轮、转子叶片 电子仪器：各种仪表、电动机、整流子等 通用机械：各种轴、轴瓦、阀体、壳体等
	硬质合金	各种阀座、气缸等烧结制品和烧结半成品
	其他	钛、镁、锌、铅等各种有色金属
非金属	木材	各种刨花板、人造耐磨纤维板制品
	增强塑料	玻璃纤维、碳纤维增强塑料
	橡胶	橡胶结合剂砂轮、橡胶环、纸用轧辊等
	石墨	炭棒等
	陶瓷	密封环、柱塞等烧结及半烧结制品

1. 金刚石刀具材料性能

（1）具有极高的硬度和耐磨性　天然金刚石是自然界中已经发现的最硬的物质。其显微硬度高达 10000HV。天然金刚石的耐磨性为硬质合金的 80~120 倍，人造金刚石的耐磨性为硬质合金的 60~80 倍。

（2）具有很低的摩擦因数　金刚石与一些有色金属之间的摩擦因数很低，通常在 0.1~0.3 之间。摩擦因数低，导致加工时变形小，切削力减小。

（3）具有很高的锋刃性　金刚石刀具的切削刃可以磨得非常锋利，一般刀尖圆弧半径可达 0.1~0.5μm。天然单晶金刚石刀具可高达 0.002~0.008μm。因此，能进行超薄切削和超精密加工。

（4）具有较低的热膨胀系数　金刚石的热膨胀系数约为高速钢的 1/10，因此金刚石刀具不会产生很大的热变形，在精密和超精密加工中尤为重要。

（5）具有很好的导热性　金刚石的导热系数可达到硬质合金的 9 倍，由于导热系数及热扩散率高，切削热容易散出，刀具切削部分温度低。

2. 金刚石刀具材料的种类

目前，金刚石刀具有两种，即单晶金刚石刀具和多晶金刚石刀具。多晶金刚石刀具包括聚晶金刚石（PCD）刀具和化学气相沉积（CVD）金刚石刀具。

（1）单晶金刚石刀具　单晶金刚石可分为天然单晶金刚石和人工合成单晶金刚石。天然金刚石多数为规整的八面体或菱形十二面体，少数为六面立方体或其他形状，其浅色透明，无杂质和缺陷，具有很强的折光率。

天然单晶金刚石刀具是将经研磨加工成一定几何形状和尺寸的单颗粒大型金刚石，用焊接、粘接、机夹或粉末冶金等方法固定在刀杆或刀体上，然后装在精密机床上。

天然单晶金刚石刀具经过精细研磨，刃口能磨得极其锋利，刃口半径可达 0.002μm，能实现超薄切削。再加上它与被加工材料之间的摩擦因数小，抗粘接性好，与非铁金属无亲和力，热膨胀系数小及导热系数高等特点，天然金刚石刀具可以加工出极高的工件精度和极低的表面粗糙度值。因此，天然金刚石刀具切削也称镜面切削，天然金刚石刀具是一致公认的、理想的和不能代替的超精密加工刀具。因单晶金刚石具有各向异性，因此，设计和制造单晶金刚石刀具时，必须选择正确的晶体方向，对金刚石原料必须进行晶体定向。由于人工合成单晶金刚石制造技术复杂，制造成本高，目前，单晶金刚石刀具绝大部分为天然单晶金刚石制成。

采用单晶金刚石刀具，在超精密车床上可实现镜面加工。单晶金刚石刀具是目前超精密切削加工领域中最主要的刀具，其刃口可磨得非常锋利，加工工件表面粗糙度值极小，且刀具寿命很高。目前，单晶金刚石刀具广泛应用于加工计算机磁盘基片、激光反射镜、各种光学仪器。

（2）聚晶金刚石（PCD）刀具　自 20 世纪 70 年代初美国 GE 公司研制成功聚晶金刚石（PCD）刀片以后，由于 PCD 原料来源丰富，且成本远低于天然金刚石，价格只有天然金刚石的几十分之一至十几分之一，因此，PCD 的应用远比天然金刚石刀具广泛。

PCD 刀具无法磨出极其锋利的刃口，其刃口半径远大于天然金刚石刀具刃口半径，加工的工件表面质量也不如天然金刚石，很难达到超精密镜面切削。虽然

PCD 的硬度低于单晶金刚石，但 PCD 属各向同性材料，刀具制造中不需择优定向。由于 PCD 粘合剂具有导电性，使得 PCD 便于切割成型。

PCD 刀具主要用于加工耐磨有色金属及其合金和非金属材料，能在很长的切削过程中保持锋利刃口和切削效率，广泛应用于一些难加工的有色金属及其合金零部件的高速精密加工及非金属材料（如石墨、炭、玻璃、硬胶木、陶瓷、塑料、刚玉、胶木及含玻璃纤维的复合材料等）的加工。

PCD 刀具从结构上可分为焊接式 PCD 刀具和可转位式刀片、整体聚晶金刚石刀片和聚晶金刚石复合刀片。目前，大多数使用的 PCD 刀片都是与硬质合金基体烧结而成的复合刀片。可转位式 PCD 刀片是在硬质合金可转位刀片上镶装一块 PCD 刀坯再经刃磨而成的，可装夹在各种数控机床的刀杆、刀夹或刀盘上，用于高可靠性的大批量加工。

聚晶金刚石车刀用的是聚晶金刚石复合刀片，刀片的上层是细颗粒人造金刚石，下层是硬质合金基体，通过高压、高温烧结成圆形的聚晶金刚石复合刀片毛坯。

（3）CVD 金刚石刀具　自从 20 世纪七八十年代 CVD 金刚石技术在日本出现，这一技术已迅速应用到切削刀具上。

CVD 金刚石是指用化学气相沉积法（CVD）在异质基体（如硬质合金、陶瓷等）上合成金刚石膜。CVD 金刚石不含任何金属或非金属添加剂，性能与天然金刚石相比十分接近，兼具单晶金刚石和聚晶金刚石（PCD）的优点，在一定程度上克服了它们的不足。根据不同的应用要求，可选择不同的 CVD 沉积工艺以合成出品粒尺寸和表面相貌不同的 PCD。大量实践表明，CVD 金刚石工具产品的使用性能在许多方面超过聚晶金刚石的同类产品，而且其表面粗糙度值接近单晶金刚石，抗冲击性超过单晶金刚石。CVD 金刚石被看作是一种很有发展前景的新金刚石材料。

CVD 金刚石刀具的超硬耐磨性和良好的韧性使其可加工大多数非金属材料和多种有色金属材料，如铝、硅铝合金、铜、铜合金、石墨、陶瓷以及各种增强玻璃纤维和碳纤维结构材料等。CVD 金刚石刀具还可用作高效和高精密加工刀具，其成本远低于价格昂贵的天然金刚石刀具。

CVD 金刚石刀具可制成两种形式：一种是在基体上沉积厚度小于 50μm 的薄层膜，即 CVD 金刚石薄膜涂层刀具；另一种是沉积厚度达到 1mm 的无衬底的金刚石厚膜，即 CVD 金刚石厚膜焊接刀具，如果需要，它可以钎焊在基体上。

CVD 金刚石薄膜涂层刀具具有整体金刚石表面涂层，可加工成具有任何式样和几何形状的切削刃。金刚石薄膜涂层刀具在某些方面要优于 PCD 刀具。由于 CVD 金刚石薄膜涂层可沉积在任何形状的基体上，因此 CVD 金刚右薄膜涂层刀具易于制造复杂型面刀具；而且 CVD 金刚石薄膜涂层刀具制作工艺简单，成本低廉，可开发的刀具品种较多，发展潜力巨大，是今后的发展方向。

CVD厚膜金刚石是纯金刚石，其硬度接近天然金刚石，比PCD的硬度高得多。与天然金刚石不同的是，CVD厚膜金刚石具有各向同性，且成本低，因此在许多方面将取代PCD，如果沉积质量进一步提高，在超精密加工中也有取代天然金刚石的可能。由于CVD厚膜金刚石的高耐磨性和高热稳定性，在高耐磨材料的高速切削加工领域具有很大的潜力。

以上三种金刚石刀具都有各自的特点，见表1-4。

表1-4　单晶金刚石、PCD金刚石和CVD金刚石刀具特性比较

特性	单晶金刚石刀具	聚晶金刚石刀具(PCD)	CVD金刚石刀具
材质结构	纯金刚石	含Co粘合剂	纯金刚石
耐磨性	高于PCD和金刚石膜	随金刚石颗粒大小而变	比PCD提高2~10倍
韧性	差	优	良
化学稳定性	高	较低	高
可加工性	差	优	差
可焊性	差	优	差
刃口质量	优	良	优
适用性	超精密加工	粗加工、精加工，不适于加工有机复合材料	精加工、半精加工、连续切削、湿切、干切，适于加工有机复合材料

3. 金刚石刀具几何角度的选择

以PCD刀具为例，其几何参数应根据加工材料的不同而确定，切削部分几何角度选择得是否合理对刀具寿命有很大影响，见表1-5。

表1-5　PCD刀具几何角度的选择

角　　度	选　　择
前角 γ_o	粗车高硬度材料时，一般采用较大的负前角-10°~-5°，若硬度较低，可采用较小的负前角；精车时一般采用0°，甚至采用正前角0°~10°
后角 α_o	当工件材料硬度较高时，可采用8°~12°；当工件材料硬度较低时，可采用10°~20°
刃倾角 λ_s	粗车时一般采用较小的刃倾角，以增加切削刃强度；精车时一般采用较大的刃倾角，以减小径向切削力
主偏角 κ_r	一般采用75°~90°，当粗车高硬度材料时，主偏角可取90°，以保持刀具强度和抗冲击性能。加工细长工件时，可选用较大的主偏角，以减小径向切削力；精车时，可采用较小的主偏角，以提高加工表面质量

1.3.4　立方氮化硼刀具

立方氮化硼（CBN）是氮化硼（BN）的同素异构体之一，其结构与金刚石相似，具有超硬特性、高热稳定性、高化学稳定性，在大气中加热至1000℃也不发

生氧化，广泛用于钢铁制品的加工。立方氮化硼刀具由于其性能优越，能够加工高速钢、工具钢、淬硬钢、冷硬铸铁、轴承钢、高温合金及其他难加工材料的切削加工。

立方氮化硼（CBN）有单晶体和多晶体之分，即 CBN 单晶和聚晶立方氮化硼（PCBN）。

1. 立方氮化硼刀具材料性能

（1）具有较高的硬度和耐磨性　CBN 具有与金刚石相近的硬度和强度，CBN 微粉的显微硬度为 8000～9000HV，PCBN 烧结体的硬度达到 3000～5000HV。在切削耐磨材料时，其耐磨性为涂层硬质合金刀具的 30 倍。

（2）具有很高的热稳定性　CBN 的耐热性高于金刚石，可达 1400～1500℃，PCBN 在 1000℃时的硬度还高于陶瓷和硬质合金的常温硬度。图 1-38 所示为 PCBN、陶瓷和硬质合金的高温硬度对比。

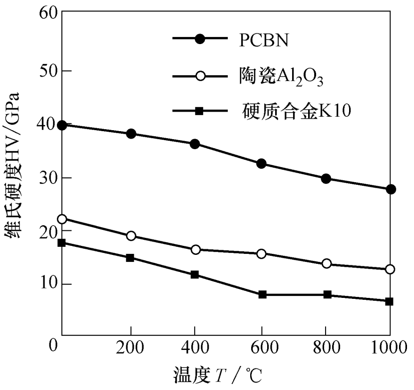


图 1-38　PCBN、陶瓷和硬质合金的高温硬度对比

（3）具有优良的化学稳定性　CBN 具有很高的抗氧化能力，在 1000℃时也不会产生氧化现象。与铁系材料到 1200～1300℃时也不起化学作用，化学惰性大。

（4）具有较好的热导性　CBN 的热导性仅次于金刚石，其导热系数是硬质合金的 20 倍，CBN 与陶瓷导热系数的比率为 37.1，在高速切削下导热系数高，可使刀具刀尖处温度低，减小刀具的磨损，有利于加工精度的提高。

（5）具有较低的摩擦因数　CBN 与不同材料间的摩擦因数为 0.1～0.3。在高速切削时，摩擦因数小，可使切削力减小，切削温度降低，提高加工表面质量。

2. 立方氮化硼刀具种类

立方氮化硼（CBN）有单晶体和多晶体之分，即 CBN 单晶和聚晶立方氮化硼（PCBN）。CBN 单晶的制取，通常使用六方氮化硼（HBN），在触媒及添加剂的参与下，经高温高压烧结而得。PCBN 是在高温高压下将微细的 CBN 材料通过结合相（TiC、TiN、Al、Ti 等）烧结在一起的多晶材料，它与金刚石统称为超硬刀具材料。由于 CBN 单晶受制造技术及成本高等因素的限制，目前实际应用中仍以 PCBN 为主。PCBN 刀具具有独特的结构和特性，近年广泛应用于黑色金属的切削加工，尤其适合于淬硬钢、高硬铸铁、高硬热喷涂合金等难加工材料的切削加工。

PCBN 刀具按结构的不同分为 PCBN 焊接刀具和 PCBN 可转位刀具两大类。

PCBN 焊接刀具是将 PCBN 刀片焊接在钢基体上经刃磨而成的。PCBN 可转位刀片一般是在可转位硬质合金刀片的一个角上镶焊一块 PCBN 刀片，经刃磨而成的。

根据制造复合方式的不同，PCBN 刀具可分为整体 PCBN 刀片和与硬质合金复合烧结的 PCBN 复合刀片。整体 PCBN 刀片有多个切削刃，可以转位使用。PCBN 复合刀片有多个切削刃，可转位，也可重磨使用。PCBN 复合刀片是在强度和韧性较好的硬质合金上烧结一层 0.5~1.0mm 厚的 PCBN 而成的，兼有较好的韧性和较高的硬度及耐磨性，解决了 CBN 刀片抗弯强度低和焊接困难等问题。

3. 立方氮化硼（PCBN）刀具几何角度的选择

以加工淬硬钢为例，说明 PCBN 刀具几何角度的选择范围，见表 1-6。

表 1-6　PCBN 刀具几何角度的选择

角度	选　　择
前角 γ_o	在加工淬硬钢时，刀尖角不能太小，刀具前角一般为-10°~0°，通常采用 0°
后角 α_o	后角一般较小，在 6°~10°，以保证刀具切削部分的楔角足够大
刃倾角 λ_s	刃倾角无特殊要求时，多取为 0°或负值，以保证切削刃切入时有较好的受力状态
刀尖角 ε_r	刀尖角一般不要小于 90°，并把刀尖研磨成 ϕ(0.4~1.2)mm 的圆弧，以保证刀尖有足够的强度

1.3.5　陶瓷刀具

陶瓷刀具是以人造化合物为原料，在高压下成形，在高温下烧结而成的。它有很高的硬度和耐磨性，耐热性高达 1200℃以上，化学稳定性好，不易与金属产生粘接。现在，由于制造方法的改进、组织的微粒化、高密度化以及在其成分中加入碳化物、氮化物、硼化物、氧化物和其他金属（如 Ni、Mo）等，使得陶瓷刀具的抗弯强度、断裂韧度和抗冲击性能都显著提高。陶瓷刀具广泛应用于高速切削、干切削、硬切削以及难加工材料的切削加工。

1. 陶瓷刀具材料的性能

（1）具有很高的硬度和耐磨性　常温硬度达 93~95HRA，切削速度比硬质合金高 5~10 倍，因而具有很高的刀具寿命。它适合加工传统刀具难以加工的高硬材料，适用于高速切削场合。

（2）具有很高的耐热性　在 1200℃的高温下硬度为 80HRA，且仍能进行切削。陶瓷刀具具有很好的高温力学性能，在 800℃时的硬度为 87HRA，在高温下的抗弯强度也降低极少。因此，陶瓷刀具可以有很高的切削速度。

（3）具有良好的抗黏结性能　陶瓷与金属的亲和力很小，具有良好的抗黏结能力，对刀具的黏结磨损小，可减小刀具的黏结磨损。

（4）化学稳定性好　陶瓷刀具具有耐腐蚀、抗扩散能力和抗氧化性能及化学稳

定性好等特点。

（5）有较低的摩擦因数　较低的摩擦因数降低了切削力和切削温度，且切屑不易黏结，不易产生积屑瘤，故加工表面质量好。

2. 陶瓷刀具的种类

（1）氧化铝基陶瓷刀具　最早出现的是纯氧化铝陶瓷，主要成分为氧化铝（Al_2O_3）及微量用于细化晶粒的氧化镁，经冷压烧结而成，硬度为92~94HRA，抗弯强度和韧性较低，使用范围较小。随后，在此基础上研制出复合氧化铝陶瓷，即在Al_2O_3基体中添加诸如TiC、Ni和Mo等合金元素，经热压成形，硬度达到93~94HRA，其强度、硬度和韧性均有较大幅度的提高，切削速度及进给量都有明显的增加，使用范围迅速扩大。由于研发技术的不断成熟，出现了在Al_2O_3中添加硼化钛TiB_2、Ti（C、N）、SiCw、ZrO_2等陶瓷刀具，其各项性能进一步提高，广泛应用于碳钢、合金钢和铸铁的精加工或半精加工。表1-7中列出了国内典型氧化铝基陶瓷刀具材料的性能。

表1-7　国内典型氧化铝基陶瓷刀具材料的性能

牌号	主要成分	密度/(g/cm)	硬度/HRA	抗弯强度/MPa	断裂韧度/MPa·$m^{1/2}$
LT-55	Al_2O_3/TiC	4.96	93.7~94.8	900	5.04
SG-4	Al_2O_3/(Ti、W)C	6.65	94.7~95.3	850	4.94
LX-1	Al_2O_3/SiCw	3.63	94~95	700~800	8.5
LP-1	Al_2O_3/TiR_2	4.08	94~95	800~900	5.2
LP-2	Al_2O_3/TiB_2/SiCw	3.94	94~95	700~800	7.8

（2）氮化硅基陶瓷刀具　最早出现的是Si_3N_4陶瓷刀具，热膨胀系数低，化学稳定性好，抗热冲击性能好。其热稳定性和抗热裂性高于Al_2O_3，适用于高速加工铸铁及铸铁合金、冷硬铸铁等高硬度材料。随后研制出Si_3N_4/TiC陶瓷刀具，这种刀具具有优良的耐磨性、热硬性和抗热冲击性。在Si_3N_4基体中添加TiC，进一步提高了切削性能，刀具寿命是硬质合金刀具的十几倍。随着研发技术的不断成熟，国际上又出现了Sialon陶瓷刀具。Sialon陶瓷刀具是用氮化铝、氧化铝和氮化硅的混合物在高温下进行热压烧结而得到的材料。在组织里添加了Y_2O_3使组织致密化。Sialon陶瓷刀具具有良好的综合性能，具有很高的强度和韧性，主要应用于铸铁、镍基合金等难加工材料的加工。

（3）新型陶瓷刀具材料　目前开发出了许多新型陶瓷刀具材料，如纳米复合陶瓷刀具、晶须增韧陶瓷刀具、梯度功能陶瓷刀具、粉末涂层陶瓷刀具、自润滑陶瓷刀具等。

3. 陶瓷刀具几何角度的选择

常用陶瓷刀具几何角度的选择见表1-8。

表 1-8　陶瓷刀具几何角度的选择

角度	选　　择
前角 γ_o	陶瓷刀具一般采用负前角进行切削，通常随工件材料硬度的不同，宜选用前角为-10°~-5°
后角 α_o	陶瓷刀具的推荐后角大小一般为5°~12°。车削高硬度铸铁和淬硬钢时，一般选择较大的后角为8°~10°
主偏角 κ_r	主偏角的大小主要根据工艺系统的刚度来选择，一般取30°~75°。车削细长工件时，为了减小背向力和变形，应选择较大的主偏角，一般取45°~75°。加工各种喷涂和喷焊材料时，为了减小刀具磨损，增加切削刃与加工面的接触宽度，应选用较小的主偏角，一般取25°~30°
刃倾角 λ_s	陶瓷刀具加工钢和铸铁，尤其是切削高硬度材料和断续切削时，均采用负刃倾角。一般推荐为-10°~0°

1.3.6　群钻

1. 标准麻花钻的缺陷及其修磨措施

（1）标准麻花钻的缺陷　对标准麻花钻几何参数进行分析，可以发现它存在的主要缺陷如下：

1）主切削刃上各点处的前角数值是变化的，靠外圆处前角大，接近钻心处已变为很大的负前角，使切削阻力增加，切削条件变差，这点是标准麻花钻结构的基本缺陷。

2）横刃太长，该处又是很大的负前角（-60°~-54°），它所起的作用实际上是挤压和刮削，而不是切削，所以横刃的存在，会消耗大量的能量，产生大量热量，而且使进给力大，定心差。

3）棱边上没有后角，副偏角又很小，棱边与孔壁摩擦剧烈、发热和磨损严重。

4）主切削刃外缘处刀尖角较小，前角较大，刃瓣薄弱，散热条件差，容易磨损。

5）主切削刃全长同时参与切削，切削速度相差较大，切削变形大，切削较困难。

（2）标准麻花钻的修磨　因标准麻花钻的几何构造产生的上述缺陷，严重影响其切削性能。为了改善钻头切削部分的几何结构，提高工作效率，使用标准麻花钻时，常对切削部分进行以下修磨。

1）修磨前面（图1-39）。主要是改变前角的大小和前面的形式，以适应加工不同材料的需要。修磨前面有两种方法：一种是将钻头靠近外缘处的前面磨平一些，以减小前角，增加切削刃强度，如图1-39a所示。用于钻削强度和硬度较高的材料，以及用麻花钻扩孔时，防止钻头扎刀。

另一种是修磨钻心部分的前角（图1-39b），以增大前角，减小切削力，使切削顺利，用于钻削强度较低的材料。

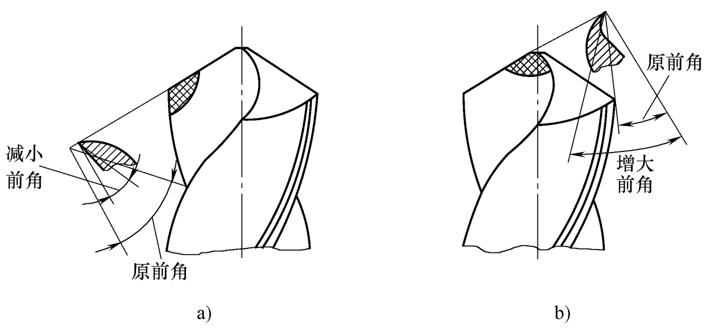


图 1-39　修磨麻花钻前面

a）减小外缘处前角　b）增大钻心部分前角

2）修磨横刃（图1-40）。修磨横刃有修短横刃和改善横刃前角两种方法，通常把这两种方法结合起来使用。钻削时可使进给力减小，钻头定心能力提高，并可改善切削条件。

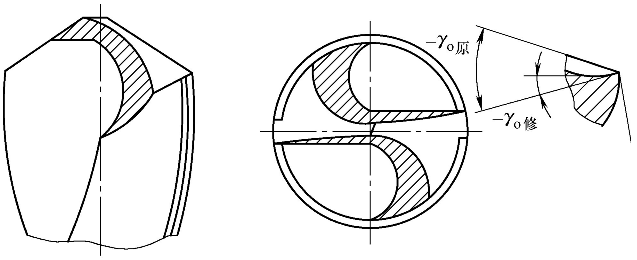


图 1-40　修磨麻花钻横刃

修磨标准是：工件材料越软，横刃应修磨得越短；工件材料越硬，横刃应修磨得少些。

3）修磨棱边。由于标准麻花钻的副后角 $\alpha'_o=0°$，为了减小钻头棱边与孔壁的摩擦，减少钻头的磨损，可修磨棱边的后面，如图 1-41 所示。磨出副后角 $\alpha'_o=6°\sim8°$，使棱边宽度修至 0.1～0.2mm，修磨长度约 1.5～4mm。用于直径较大的钻头，加工韧性材料或软金属，可提高加工表面质量，并能用于孔的半精加工。

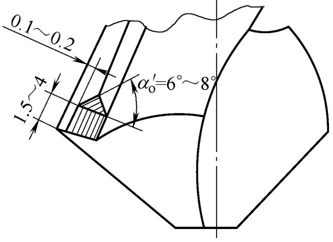


图 1-41　修磨麻花钻棱边

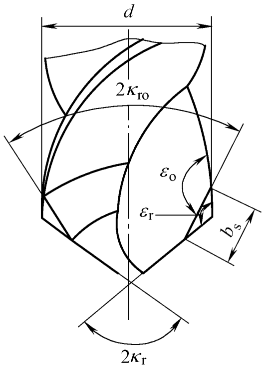
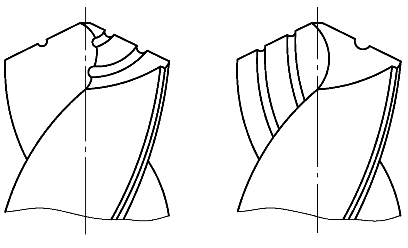


图 1-42　修磨麻花钻顶角

4）修磨顶角。将钻头两刀尖点磨成直线或圆弧过渡刃，形成双重顶角，如图 1-42 所示。一般 $2\kappa_{ro}=70°\sim75°$，$b_s=0.2d$。修磨后，外缘的刀尖角增大，切削刃承载能力提高，进给力减小，散热条件改善，钻头寿命提高。用于钻削带硬皮的铸铁、铸钢件时，效果更为明显。



a)　　　　b)

图 1-43　麻花钻开分屑槽

a）在主后面上开分屑槽

b）在前面上制造出分屑槽

5）开分屑槽（图 1-43）。当麻花钻较大时，可在钻头的两个主后面上交错磨出分屑槽（图 1-43a），或制造钻头时在前面上制出分屑槽（图 1-43b）。钻孔时可将切屑分割成窄条，切削变形减小，排屑方便，可减小切削力，有利于切削区的冷却润滑，改善切削条件。适用于在韧性材料上钻削大而深的孔。

2. 基本型群钻的几何特点及其刃磨

群钻是通过长期的实践和研究，针对标准麻花钻暴露的弱点采取不同的措施，对麻花钻实行变革的一种钻头。基本型群钻主要用来钻削各种钢料，适用范围较广。

（1）基本型群钻的几何特点　图 1-44 所示是中等尺寸（$15\leqslant d\leqslant40$mm）的基本型群钻。从图中看出基本型群钻就是在标准麻花钻上加磨月牙槽，修磨横刃和磨出单面分屑槽。其特征是：

1）加磨月牙槽。形成月牙形圆弧刃是最大的特点，它把主切削刃分成三段，即外刃（*AB* 段）、圆弧刃（*BC* 段）和内刃（*CD* 段）。它有利于断屑和排屑，且圆弧刃上各点前角比原来大，使切削轻快。钻孔时圆弧刃在孔底上切削出一道圆环筋，能限制钻头的摆动，加强了定心作用。由于磨出月牙槽时降低了钻头的高度，所以可把横刃处磨得较锋利，而不致影响钻尖的强度。

2）修磨横刃。把横刃磨短，可以减小进给力，改善定心作用，同时修磨内缘处前角，以提高切削能力。

3）磨出单面分屑槽。即在一条外刃上磨出凹形分屑槽，有利于排屑和减小切削力。基本型群钻的形状特点是：

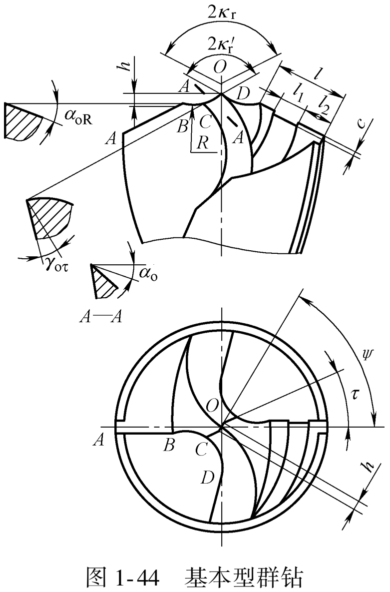


图 1-44　基本型群钻

“三尖七刃锐当先，月牙弧槽分两边，一侧外刃再开槽，横刃磨低窄又尖。”

三尖是指主切削刃分成三段并形成三个尖；七刃是指两条外刃、两条圆弧刃、两条内刃及一条槽刃。

钻头各角度：$2\kappa_r = 125°$，$2\kappa'_r = 135°$，$\psi = 65°$，$\tau = 25°$，$\gamma_{o\tau} = -15°$，$\alpha_o = 10° \sim 15°$，$\alpha_{oR} = 12° \sim 18°$，$l = (0.2 \sim 0.3)d$，$l_1 = l/4$，$l_2 = l/2$，$R = 0.1d$，$h = 0.03d$，$b = 0.03d$，$c = 1.5f$。其中：$d$ 为钻头直径，f 为进给量。

（2）基本型群钻的刃磨

1）修整砂轮。在普通砂轮机上刃磨，用氧化物系白刚玉（WA）或棕刚玉（A）砂轮，粒度为 F46～F48，硬度为 K～L。

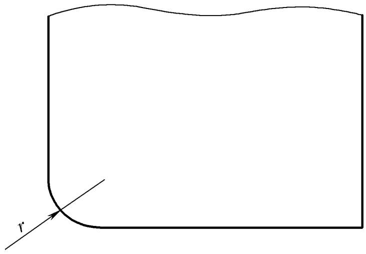
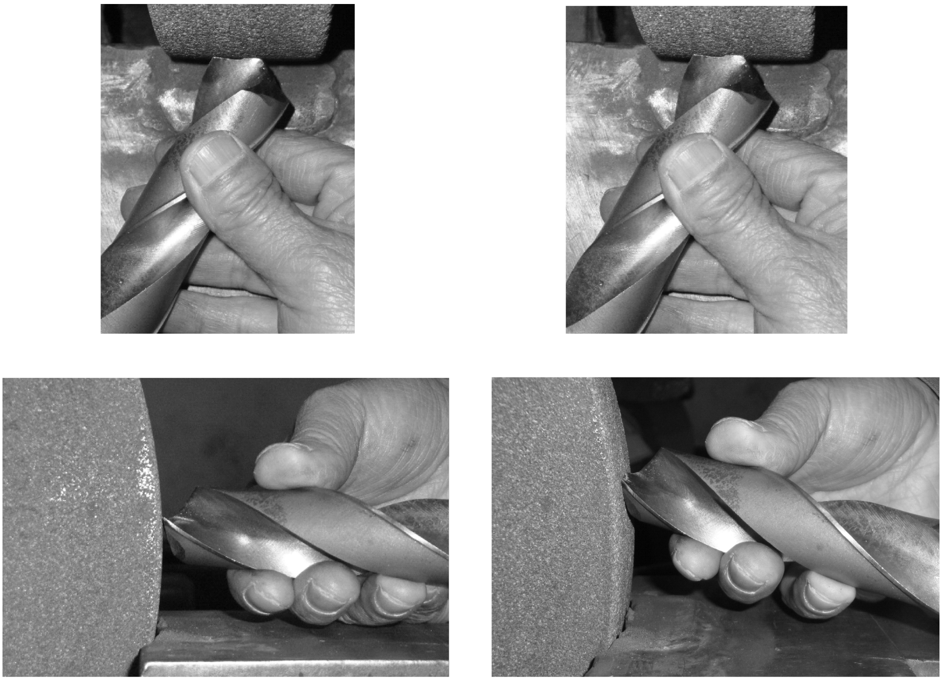


图 1-45　修整砂轮

用金刚石将砂轮外圆和两侧面修平整（砂轮不应有跳动现象），一般右侧接近锐角，左侧修出圆弧，圆角 r 略小于钻头圆弧刃半径，如图 1-45 所示。

2）刃磨主切削刃。与刃磨标准麻花钻方法相同，控制参数 $2\kappa_r$ 及 α_o。刃磨方法如图 1-46 所示。

① 将主切削刃摆平，磨削点大致在砂轮的水平中心面上。



a)　　b)

图 1-46　刃磨主切削刃

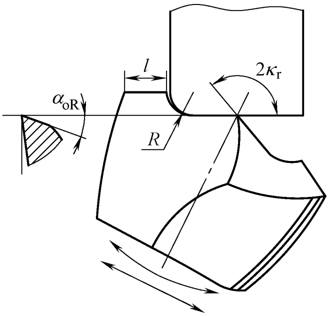
② 使钻头轴线与砂轮圆柱面素线在水平面内的夹角等于顶角一半，如图 1-46a 所示。

③ 一只手握住钻头的一个部位做定位支承，另一只手使钻尾上下摆动或绕轴线做微量转动，磨出一条主切削刃及其主后角，如图 1-46b 所示。

3）刃磨圆弧刃。控制参数：R、α_{oR}、l、$2\kappa_r'$，如图 1-47 所示。刃磨方法如下：

① 手拿钻头，使钻头主切削刃基本水平，并靠上砂轮圆角，磨削点大致在砂轮水平面上。

② 使钻尾压下，与水平面成一圆弧后角 α_{oR}，如图 1-47a 所示。



a)　　b)

图 1-47　刃磨圆弧刃

③ 刃磨时不能使钻头上下摆动或绕钻头轴线转动，可按图 1-47b 所示箭头做微量平移或转动，磨出后面，形成圆弧刃，并保证圆弧半径 R 及外刃长 l。如果砂轮圆角小于要求的圆弧半径值，则钻头还应在水平面做微小的摆动，以得到所要求的 R 值。

4）修磨横刃。控制参数：τ、γ_o、b_o 与标准麻花钻修磨横刃的方法相似，如图 1-48 所示。

刃磨方法如下：

① 使钻头外刃背靠上砂轮圆角，磨削点大致在砂轮水平面上。

② 钻头轴线左摆，在水平面内与砂轮侧面夹角约为 15°，并使钻尾下垂，钻头轴线所在垂直平面内与水平线夹角约为 55°。

③ 刃磨时，钻头上的刃磨点逐渐由外刃背向钻心移动。两边修磨应对称，保证内直刃及横刃对中。

5）刃磨单面外直刃上的分屑槽。刃磨方法如图 1-49 所示。选用的砂轮直径应小些，使砂轮侧面与外刃垂直，磨削点大致在砂轮水平中心面上，开在外刃的中心处。

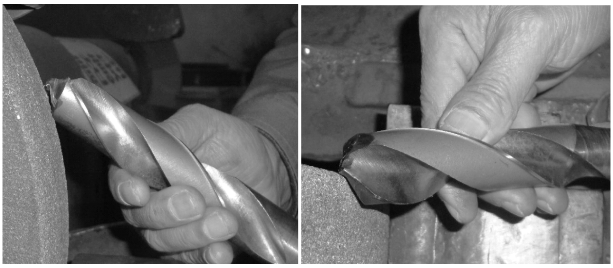


图 1-48　修磨横刃

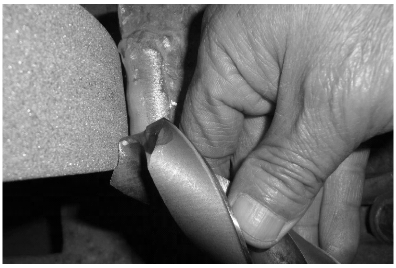


图 1-49　刃磨外刃上的分屑槽

刃磨时，钻头接触砂轮时在垂直平面内摆动钻尾，磨出的分屑槽部位有一定的后角。这样，基本型群钻刃磨参数共有 14 个，其中有 7 个长度参数和 7 个角度参数，见表 1-9。

表 1-9　基本型群钻刃磨参数

刃磨长度		刃磨角度	
尖高	$h \approx 0.03d$	外刃顶角	$2\kappa_r = 125°$
圆弧半径	$R \approx 0.1d$	内刃顶角	$2\kappa_r' = 135°$
外刃长	$d>15$mm 时　$l = 0.3d$	内刃前角	$\gamma_{o\tau} = -15°$
	$d \leqslant 15$mm 时　$l = 0.2d$		
槽距	$l_1 = l/4 \sim l/2$	内刃斜角	$\tau = 20° \sim 30°$
槽宽	$l_2 = l/3 \sim l/2$	横刃斜角	$\psi = 60° \sim 65°$
槽深	$c = 1 \sim 1.5f$	外刃后角	$\alpha_o = 10° \sim 15°$
横刃长	$b \approx 0.03d$	圆弧后角	$\alpha_{oR} = 12° \sim 18°$

3. 其他形式群钻

（1）钻铸铁群钻　由于铸铁较脆，钻削时，切屑成碎块并夹杂着粉末，挤扎在钻头的后面、棱边与工件孔壁之间，所以产生剧烈的摩擦，使钻头磨损。磨损几乎完全发生在后面上，但磨损最严重的部位，则是钻头的外缘转角处，严重影响钻头的使用寿命。所以刃磨钻头时应从以下几方面去考虑。

1）为了保护钻心尖，磨出月牙圆弧槽使钻心低下来，切入工件后三尖很快同时切削，定心好，钻心尖不易崩碎和磨损，也便于找正。

2）采用双重顶角，在钻头外缘处磨出倒角，即形成双重顶角（$2\kappa_{r1}$），使转角处变宽，改善钻头散热条件，从而提高了寿命。

3）适当加大后角，一般比钻钢的大 3°左右，减小钻头与工件间的摩擦。

钻头的形状特点是“铸铁屑碎赛磨料，转速稍低大进给，三尖刃利加冷却，双重顶角寿命高”。

钻头的结构形状和几何参数如图 1-50 所示。

钻头各角度：$2\kappa_r=120°$，$2\kappa_r'=135°$，$2\kappa_{r1}=70°$，$\psi=65°$，$\tau=25°$，$\gamma_{o\tau}=-10°$，$\alpha_o=13°\sim18°$，$\alpha_{oR}=15°\sim20°$，$l=0.3d$，$l_1=l_2$，$R=0.12d$，$h=0.02d$，$b=0.02d$（d 为钻头直径）。

（2）钻铸铁精孔钻头　钻头的结构形状和几何参数如图 1-51 所示。它可代替铰刀，或当孔径为非标准尺寸时，为提高钻孔精度和减小孔壁表面粗糙度值时选用。

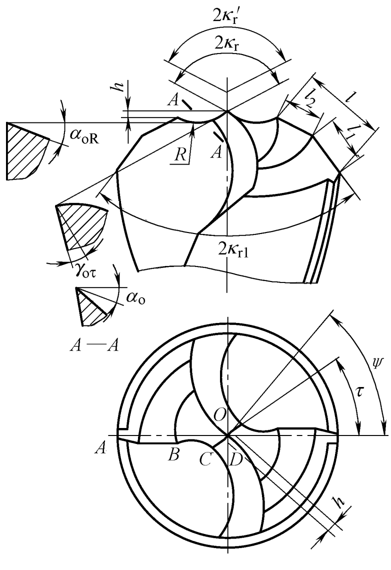


图 1-50　钻铸铁钻头

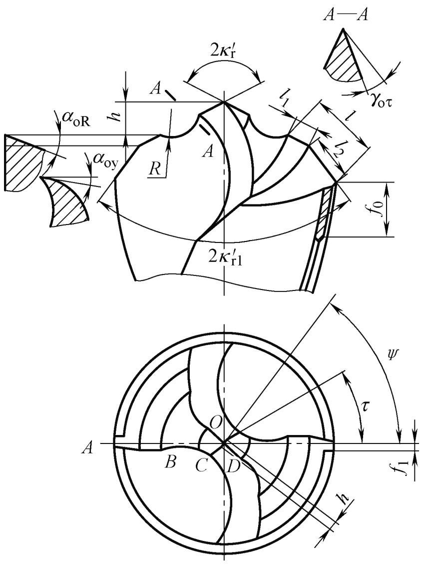


图 1-51　钻铸铁精孔钻头

钻头各角度：$2\kappa_{r1}=15°\sim20°$，$\psi=80°$，$\tau=25°$，$\gamma_{o\tau}=-10°$，$\alpha_o=8°\sim12°$，$\alpha_{oR}=10°\sim15°$，$\alpha_{oy}=4°\sim6°$，$l=0.25d$，$l_1=0.2d$，$l_2=0.15d$，$R=0.1d$，$f_0=3\sim5$mm，$f_1=0.5$mm，$h=0.2d$，$b=0.02d$（d 为钻头直径）。

（3）钻不锈钢钻头　钻不锈钢孔的主要问题是不易断屑。这种材料强度虽不高，但塑性很大，热导率低，用基本型群钻切削时，使用加大切屑变形的办法来断屑，将会增加切削负荷，使钻头寿命降低，这是不可取的。在基本型群钻的基础上，将圆弧刃半径 R 加大，将尖高 h 加高，把圆弧刃、单边分屑槽部都磨浅，使圆弧刃尖和分屑刃尖的刀尖角加大，钻削时，利用宽切屑的卷曲运动把上一段已分开的窄而平直的切屑在交界的裂口处斜拧撕断，是充分发挥钻头切削性能的措施。

钻头各角度：$2\kappa_r=135°\sim150°$，$2\kappa_r'=135°$，$\psi=65°$，$\tau=20°\sim25°$，$\gamma_{o\tau}=-15°$，$\alpha_o=10°\sim12°$，$\alpha_{oR}=14°\sim16°$，$l=0.3d$，$l_1=l_2=l/3$，$R=0.2d$，$h=0.05d(2\kappa_r=150°)\sim0.07d(2\kappa_r=135°)$，$b=0.04d$（$d$ 为钻头直径），$c=f/3$（f 为进给量）。

钻头的结构形状和几何参数如图 1-52 所示。

（4）钻纯铜钻头　钻头的结构形状和几何参数如图 1-53 所示。钻纯铜孔的主要问题是因材料软，易产生“扎刀”和使钻头抖动，出现孔形不圆或多角形现象。又因不易断屑，切屑绕在钻头上使孔的外部扩大，钻孔不光或孔壁产生撕痕。由于纯铜材料比高速钢钻头传热快，钻较深孔时，钻头在孔中容易咬住。所以刃磨钻头时应考虑以下几个方面。

1）钻心部分的形状要合适，以保证切削平稳，定心牢靠。主要是适当减小内刃顶角 $2\kappa'_r$，加大钻尖高度 h，使内刃前角 $\gamma_{o\tau}$ 的负值稍大些，减小圆弧刃后角 α_{oR}，取横刃斜角 $\psi=90°$。

2）对于直径大于 25mm 的钻头，在外刃上磨出分屑槽，便于排屑，而且可以进一步降低切削负荷。

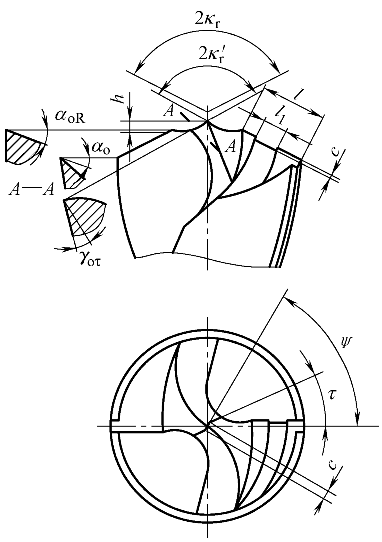


图 1-52　钻不锈钢钻头

3）选取外刃顶角 $2\kappa_r=120°$的目的是利于排屑和改善孔壁表面质量（钻硬化的纯铜时，$2\kappa_r$ 应适当加大）。

钻头各角度：$2\kappa_r=120°$，$2\kappa'_r=115°$，$\psi=90°$，$\tau=30°\sim35°$，$\gamma_{o\tau}=-25°$，$\alpha_o=12°\sim15°$，$\alpha_{oR}=10°\sim12°$，$l=(0.2\sim0.3)d$，$R=(0.1\sim0.2)d$，$h=0.06d$，$b=0.02d$。$d\leqslant25$mm 时不开分屑槽；$d>25$mm（d 为钻头直径）时，$l_1=l_2/2$、$l_2=l/2$。

（5）钻铝合金钻头　钻铝合金孔的主要问题是积屑瘤严重，孔壁粗糙及钻深孔时排屑困难。

钻铝合金群钻的几何参数与基本型群钻相似。只是横刃磨得更窄，以进一步降低切削负荷和热量，修磨横刃时将刃瓣（刃背）多磨去一些，以加大容屑空间；加大顶角 $2\kappa_r$，使分成窄条的切屑向上窜出，与钻头螺旋槽的摩擦阻力较小，便于排屑。

钻头的结构形状和几何参数如图 1-54 所示。

1.3.7　硬质合金车刀的粘焊、刃磨及研磨

硬质合金刀片与刀杆的连接，除了机械夹紧的方法外，还有铜焊和粘接的方法。

1. 硬质合金车刀粘焊方法

（1）焊接中产生裂纹及其预防　在车刀刀杆上焊接硬质合金刀片一般采用铜焊的方法。由于硬质合金刀片性脆且导热性差，受热后收缩率大。焊接时，如果操作工艺不当，会因产生很大的内应力而出现粗而深的裂纹，如图 1-55 所示。

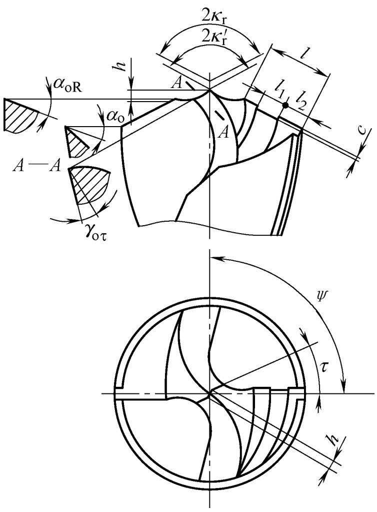


图 1-53　钻纯铜钻头

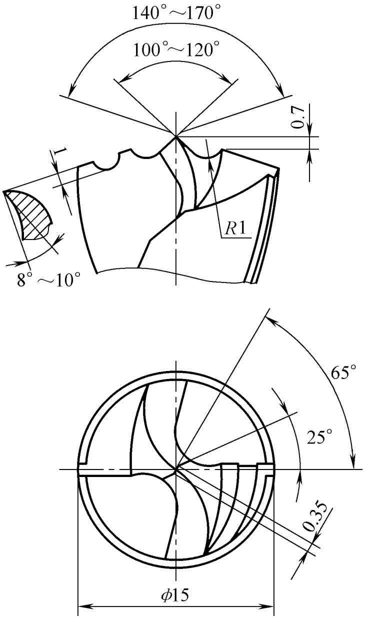


图 1-54　钻铝合金钻头

冷却速度对焊接质量有很大影响，骤急冷却会使刀片产生爆裂。焊好的刀具应立即进行低温回火（220~250℃），然后放在干燥的保温介质中（如木炭粉、草木灰、石棉粉等）保温 6~8h，以清除大部分焊接应力，避免刀片上产生裂纹，并能提高刀具的使用寿命。

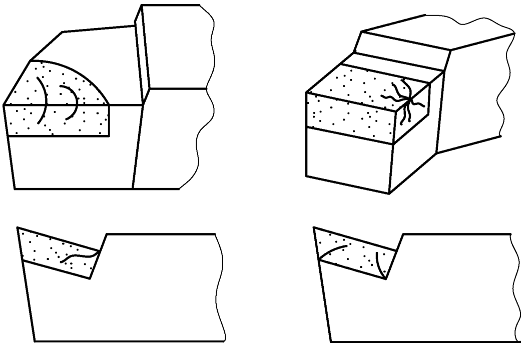


图 1-55　硬质合金刀片产生裂纹

焊接时的加热速度同样对焊接质量影响较大。若快速加热，会产生很大的内应力，促使刀片在焊接层处因局部热应力过大而出现崩裂，由于硬质合金热导率低，对于快速加热灵敏性高，所以，焊接时加热必须缓慢。

刀片与刀槽的接触面要平整，凸凹坑、黑皮会使两者不能很好地贴合，造成焊料分布不匀，引起应力集中，导致刀片出现裂纹。另外，刀槽形状要和刀片一致，相差尺寸不宜太大，刀片外伸量不要太多，否则由于刀具焊接过程中承受拉应力，刀片与刀杆受热膨胀后的收缩率不一样，使刀片焊接层处出现崩裂。

对于焊接大尺寸和较容易产生裂纹的刀片（如 YT30 刀片），可采用在刀片下面加垫一块 0.4mm 厚低碳钢铁皮的多层焊接法，如图 1-56 所示。这样，可以消除

焊接中因刀片与刀杆收缩不一致而产生的应力，以防止刀片出现裂纹。

多层焊接也像普通焊接那样，只是多加上一层低碳钢铁皮，这样焊接以后，焊接层的厚度增加了，由于铁皮的线胀系数较钢刀杆的线胀系数小，焊层的伸长率也就降低，而焊料厚度却不增加，因此应力减小，强度增加，有利于避免刀片的崩裂。

焊接中，当焊料熔化时，要用一个尖棒将刀片压紧一下，这是由于刀片与焊料之间、焊料与刀槽之间因金属分子的扩散而粘结着，这种粘接的强度高于焊层材料的强度，所以焊层要尽可能地薄，且连绵均匀，如焊料太厚，焊接就不结实。同时应该注意，尖棒顶端不能太大，否则会在压刀片时，使刀片遇急冷而产生裂纹。

（2）硬质合金车刀的粘结　采用焊接时如果操作不当，会使硬质合金刀片出现裂纹，而降低刀具寿命，这时粘结则明显优于焊接。

粘结就是将刀杆前端固定刀片的地方开出斜槽，用无机粘结剂将刀片粘结在斜槽中，靠粘结力与切削时产生的自锁力，保持刀片与刀杆的刚性连。图 1-57 所示是 90°外圆车刀粘结前的开槽情况。槽高 h 比刀片厚度大 0.1～0.3mm，l 约等于刀片长度，k 约等于刀片宽度。槽内各面不要求光洁，表面粗糙度 Ra 值在 50～62μm 范围内即可。

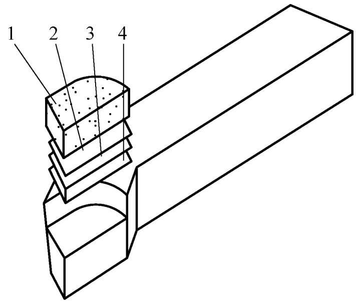


图 1-56　硬质合金车刀多层焊接

1—刀片　2、4—焊料　3—薄铁皮

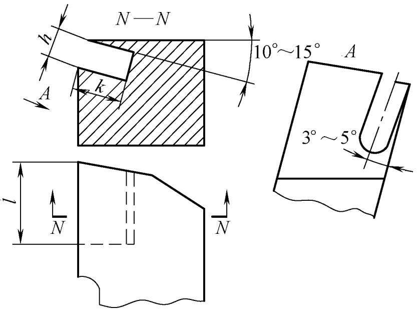


图 1-57　90°外圆车刀粘结前的开槽情况

粘结时可采用氧化铜-磷酸无机胶。配制这种无机胶时，每 1mL 磷酸溶液取 4.5g 氧化铜粉，在铜板上调合均匀而成。粘结前要先对合金刀片和刀槽用丙酮进行清洗，并于室温下干燥。粘结后，在室温下放置 2h 左右，加压固定。待其初步凝固，再放入加热炉，在 60～80℃下保温 3～4h 即可。

2. 硬质合金车刀的刃磨

（1）刃磨中产生裂纹及其预防　刃磨硬质合金刀具时，若操作不当，刀片上多会产生较细而不规则的裂纹。

硬质合金焊接车刀第一次刃磨时，应先在刚玉类砂轮上磨好毛坯，特别是应先磨去非硬质合金材料部分，再在碳化硅（绿色）砂轮上刃磨硬质合金部分。这样

刃磨效率较高，刃磨质量好，硬质合金刀片受损概率小些。

手动刃磨时，对旋转中的砂轮所施加的压力要适当，不宜过大，不要按在一处长时间地磨，应该不时地间断，使刀具有较多的散热时间。如果刀具上的温度太高，造成冷热不均，刀片容易产生裂纹。刃磨时，用力不要过猛，否则，会因摩擦力增大，刀片温度急剧上升，局部出现高温，形成附加热应力引起热变形，产生过热裂纹。

新焊接的硬质合金车刀或车刀磨损严重时，应先在粗砂轮上粗磨，然后在细砂轮上精磨。砂轮材料为中等硬度的绿色碳化硅，粗磨时，磨料粒度为 F40～F60；精磨时，磨料粒度可为 F80～F100；磨刀杆时磨料粒度为 F36～F46。

手动刃磨时，可不使用冷却液，切忌在刃磨过程中，为了降低温度，而将干磨发热的刀具浸入凉水中，否则会因温度突变，收缩应力过大，刀片产生严重裂纹。

机动（如在工具磨床上）刃磨时，磨床主轴的轴向窜动和径向圆跳动不宜过大，否则，刃磨时会出现砂轮振动或不稳定，使刀片产生振裂或出现细微的碎裂状崩刃。

刃磨硬质合金刀具时，为了防止出现裂纹，推荐粗磨时采用负刃刃磨法，即在磨车刀前、后刀面之前，先磨出负倒棱，待前、后刀面及卷屑槽磨好后再根据需要精修负倒棱（图 1-58），它可以提高刀片强度，增强刃磨时的抗振性，减少导向刀片的磨削热。因为在刃磨时，由于温度迅速升高，而刀片受热面积小，承受热量的能力也小，刀片、刀杆的温差大而使热应力集中，则刀片产生裂纹。当采用负刃刃磨法时，由于在切削刃上增强了负刃带，就使刀片增强了承受冲击载荷的能力，也加大了受热面积，能有效地防止裂纹的产生。对负刃带的形状和尺寸没有严格规定，可根据刃磨的余量和刀具的尺寸而定，直到精磨时符合型面尺寸后，再把负刃带磨掉。

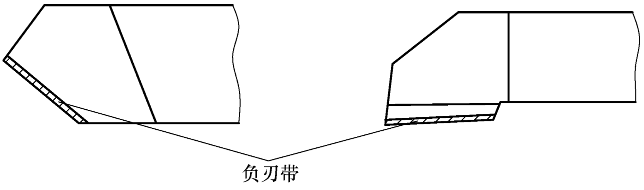


图 1-58　在切削刃上磨出负刃带

（2）车刀刃磨装置　一般车刀变钝后都是采用手动方法在砂轮机上刃磨，使其重新锋利。在生产线上进行加工和条件许可的情况下，刃磨车刀可使用专用装置。

图 1-59 所示是刃磨焊接车刀使用的一种简易装置。1 是圆盘，它安装在底座（图 1-59 中未画出）中，圆盘可按周围的刻度数围绕轴心转动。刃磨车刀上的主偏角和副偏角时，就是通过转动圆盘来掌握角度的。2 是滑板，将它用内六角螺钉固定在圆盘 1 上，松开内六角螺钉，滑板 2 就可在圆盘 1 上做纵向移动。3 是支

座，将它用螺栓 6、螺母 9、垫圈 10 紧固在滑板 2 上，并可在滑板 2 上做横向移动。4 是托架，它跟支座 3 配合，并用螺钉 7、垫圈 8 紧固。托架上刻有度数。5 是刀台，固定在托架 4 上。车刀在砂轮侧面修磨后角时，可松开螺钉 7，扳转托架 4 进行调整。刃磨后角时，扳动手柄松开螺钉 11，转动刀台 5 进行调整。该装置结构简单，刃磨角度准确，适合于集中刃磨时使用。

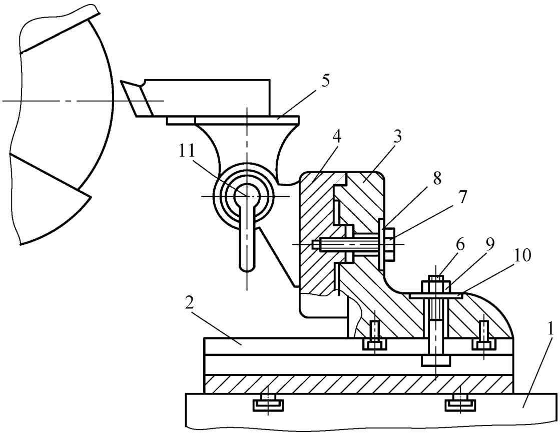


图 1-59　车刀刃磨装置

1—圆盘　2—滑板　3—支座　4—托架　5—刀台

6—螺栓　7、11—螺钉　8、10—垫圈　9—螺母

3. 车刀的研磨

车刀研磨一般是用磨石进行手工作业，实践证明，不论是高速钢刀具还是硬质合金刀具，不论是粗车刀还是精车刀，几乎都适合用磨石研磨。研磨车刀切削刃常用的磨石如图 1-60 所示。

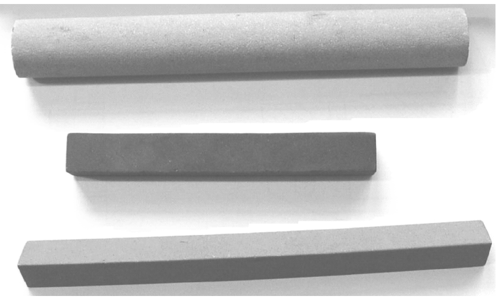


图 1-60　研磨车刀切削刃常用的磨石

（1）磨石的选择与“开口”　磨石的特性与砂轮相同，研磨高速钢、碳素工具钢刀具时选用刚玉类磨石；研磨硬质合金刀具则选用绿色碳化硅磨石。选用矩形条状磨石为佳。

应当指出的是，新领来的磨石不宜直接用来研磨刀具，这是因为磨石是通过高温烧结而成的，其变形是难以避免的，特别是那些较薄、较长的磨石变形更加严重；此外，烧结后的磨石与烧结后的砂轮一样，砂粒均为圆形，是没有“开口”的磨石，如图 1-61 所示。如果不经“开口”就使用，势必会因磨石无刃而出现磨石修磨时打滑，切削刃修磨后的直线度与平面度均较差等现象。

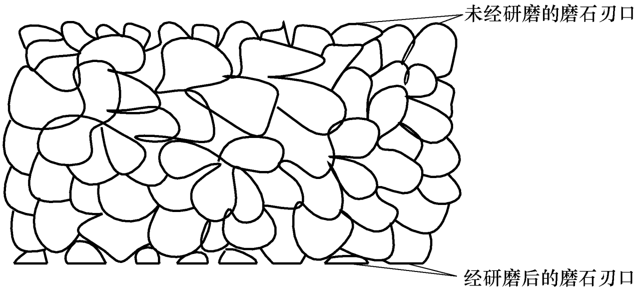


图 1-61　磨石研磨前后刃口对比放大图

磨石的“开口”一般是采用粒度为 F80～F100 的绿色碳化硅研磨砂作研磨剂，煤油或柴油作研磨液，在平板上手工按“8”字形或“0”字形轨迹进行研磨，如图 1-62 所示。研磨时手的压力不宜过大。圆形磨石的研磨是用手指轻按磨石在平板上滚动，在滚动过程中观察，待各部位全研磨出即可。研磨好的磨石的手感比研磨前截然不同，能明显地感觉到“刃口”的锋利。此外，使用过久、表面有划痕、磨损不均的磨石也应及时修研，避免因磨石问题而影响车刀的研磨质量。

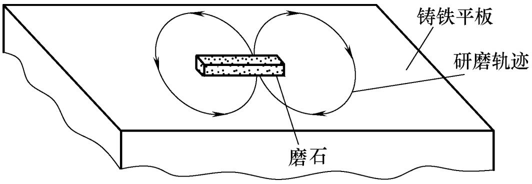


图 1-62　磨石研磨“开口”示意图

（2）车刀刀头部分的研磨　由于受砂轮机砂轮粒度、跳动等影响，磨出的车刀各面形状及角度不准，表面粗糙度值较大。可采用粗粒度的磨石先粗研，然后用细粒度的磨石进行精研。研磨时，磨石应紧贴研磨面做短程的往复运动，幅度不可过大，防止被研磨面不平直。研磨到砂轮的磨削痕迹消失为止。研磨刀具卷屑槽时，应选择适当直径的圆磨石进行研磨，其他各种型面研磨均可采用矩形磨石。研磨刀具后面时应特别注意，因为车刀的后面是在砂轮外圆上磨出的弧形面，所以在修研时应以不破坏弧形面为原则，仅需研磨切削刃部分，如图 1-63 所示。

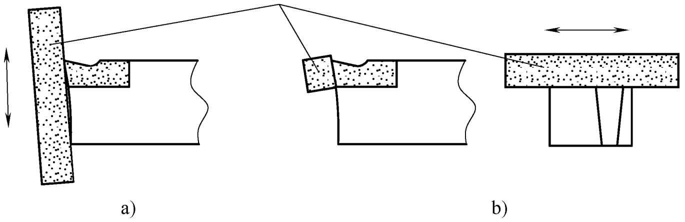


图 1-63　研磨后面
a）错误的研磨方法　b）正确的研磨方法

车刀的倒棱、过渡刃、修光刃均可用磨石直接研磨出来。

对于复杂的成形刀的切削刃，除采用磨石研磨外，还可以采用金刚锉修锉的方法加工出切削刃的形状。例如：较小的圆弧和难以在砂轮上直接用手工磨出比较复杂的切削刃，可采用金刚锉修锉。

1.4　工件的装夹与找正

在车削加工中，常遇到外形不规则、形状复杂、相对位置精度要求较高的零件，这些零件的加工，除采用专用工艺装备装夹外，通常使用的是单动卡盘、花盘、角铁、V 形块等车床通用夹具，经过正确的安装和找正方法，来达到零件的加

工精度要求。因此，畸形工件的装夹、找正、车削，要求操作者具有较高的技术和丰富的工作经验。

1.4.1 工件的无针找正

无针找正是车工重要的基本功，它是不用辅助工具，仅通过目测找出工件偏摆点进行调整，从而达到找正目的。特别是当毛坯外圆具有非对称形体而不能使用辅具工具找正时，更离不开无针找正技能。

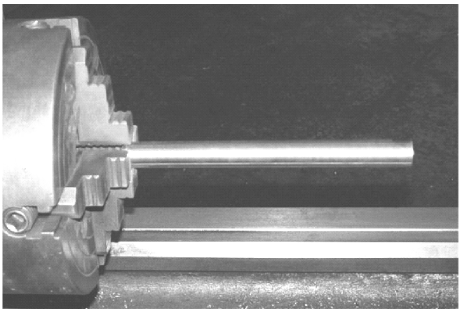
1. 自定心卡盘的无针找正

找正即是找出旋转工件的最高点校正或敲正。

自定心卡盘具有自动定心的作用，所以工件被夹持部分和找正区基本上是与车床主轴轴线同轴的。如果工件找正区需要找正，可以采用松开工件，将工件旋转一个角度再夹紧的方法。工件的伸出部分，特别是离卡爪较远部分的敲正区需敲击找正，才能使工件整个轴线与主轴轴线同轴。粗找正时，通常因工件夹偏较多，为安全起见不开动车床，而用手扳动卡盘旋转，这时需在车床导轨适当处找个参考点，与旋转的工件外圆比较，找出工件的最高点，用铜棒敲击，使旋转工件的外圆表面与参考点距离都相等，即找正完毕。在工件较小、较短时，在安全状态许可的情况下，可采用粉笔辅助找正，即手持粉笔，以小刀架为支点，开慢车，工件旋转到最高点即被擦上粉笔灰，再用前面的办法针对粉笔擦痕进行找正。

2. 单动卡盘工件的无针找正

单动卡盘找正与自定心卡盘找正相比，除离卡爪较远端要敲正外，夹持部位也需找正，如图 1-64 所示。



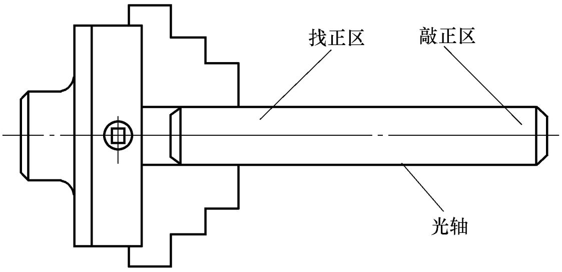


图 1-64 工件的找正区与敲正区

敲正点与找正点距离越大越容易校得准，因此，找正时应根据工件实长尽可能拉开此距离。在找正区通过参考点找到工件的最高点后，调整卡爪，使找正区工件得到找正，再在敲正区也通过参考点找到最高点，用敲击的方法找正工件。此找正方法需要反复进行几次，直到凭目测观察参考点与工件外圆表面间的距离相等为止。需要指出的是：工件找得越正就越难找到最高点（完全找正了，也就不存在最高点）。

技能大师经验谈：

无针找正需要多练，通过练习才能积累丰富的经验，练出敏锐的视觉。实践证明，无针找正基本功扎实的操作者，可以在3min内将ϕ40mm×300mm的光轴找正到跳动误差小于0.03mm。

1.4.2　用单动卡盘装夹、找正矩形精密工件

车工加工常会遇到各种矩形工件，它们大部分不但有较高的尺寸精度，还有较高的几何公差要求，如图1-65所示。在没有工装夹具的单件生产中，如果采用划线找正的方法，则很难达到图样的技术要求，常用单动卡盘装夹找正。

1. 工件夹持部分截面为正方形

用单动卡盘夹持图1-65a所示工件时，卡爪间必须加垫15mm×10mm×2mm的纯铜片，它不仅可防止夹伤工件外表面，而且便于工件的敲正，为找正带来很大的方便。

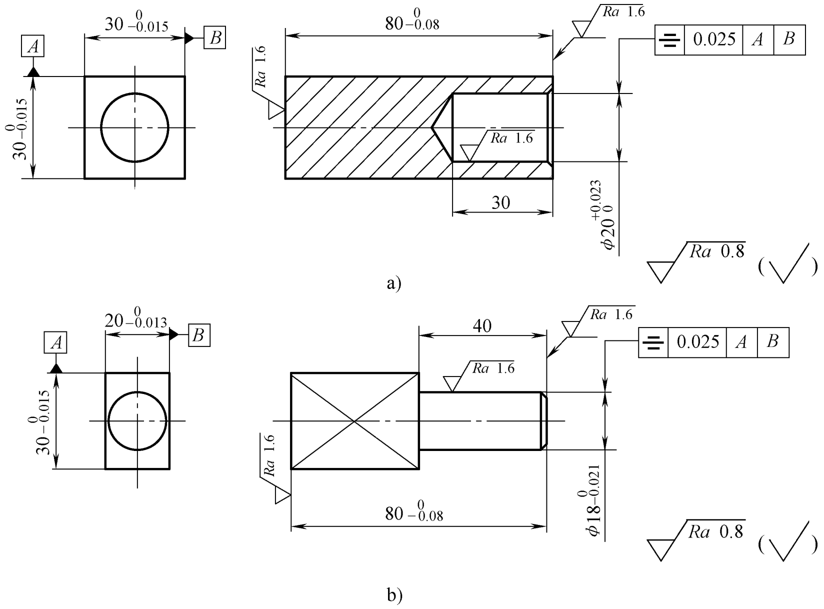


图1-65　四边形工件

a）截面为正方形　b）截面为矩形

（1）工件车削部分与车床主轴轴线平行的找正　常用无针找正的方法进行粗找正（或参考卡盘端面刻线），再移动百分表进行精找正，检查工件外表面与主轴轴线的平行度，如图1-66所示。找正好一组对边后，再将工件旋转90°找正另一组对边。

（2）找正工件轴线与主轴轴线的同轴度　如图1-67b所示，将百分表测头置于

工件上表面大致中心的位置，使其与被测表面大致水平，百分表测头压缩值为0.5mm左右为宜。用手轻微扳动卡盘进行顺、逆时针方向转动，这时百分表指示值会出现一个最小极限值，将卡盘的转动停留在最小值位置，转动表盘将百分表调至零位。向右移动大滑板，使百分表测头离开被测表面（此时不得摇动中、小滑板），将卡盘扳转180°，移动大滑板，同样找到被测表面最小指示值，比较两面的差值，调整卡爪使其相等，则说明该组对边已找正好。同理，找正另一组对边。因为截面是正方形，其对边尺寸是相等的，它的指示值也会相等。

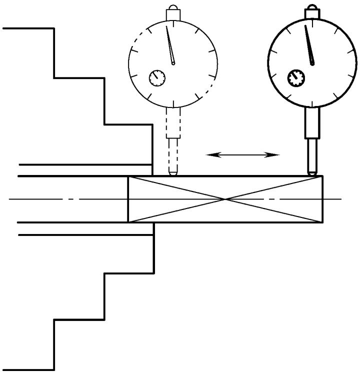
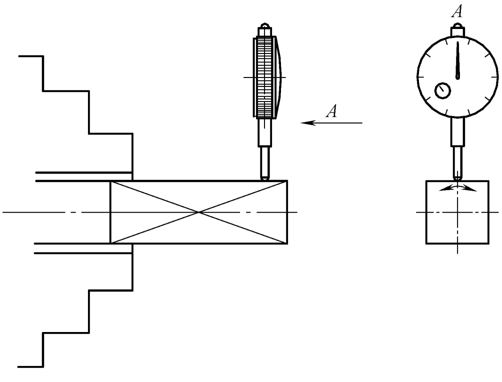


图1-66　找正工件外表面与主轴轴线的平行度



a)　　b)

图1-67　找正工件轴线与主轴轴线的同轴度

（3）精找正平行度和同轴度　因为同轴度的找正难免影响已找正的平行度，再按第一步找正的方法精找正，此两种找正方法应交替进行，直至检查无误。使用百分表找正时要注意，在百分表测头触及被测表面前，特别是测杆压缩量较大时，一定要用手轻轻提起百分表测头，等被测表面转到合适的位置再放下百分表测头，以防损坏百分表或使百分表产生整体位移，影响测量值。

2. 工件夹持部分截面为矩形

夹持工件截面为矩形时，找正方法与夹持工件截面为正方形时相同，只是有一组对边百分表的指示值应重新调整而已。

3. 工件夹持部位与车削部位不同轴的找正

夹持部位与车削部位不同轴，如图1-68所示。

工件的找正方法基本上与前两种相同，只是在不同轴部分找正时，需借助量块组来完成，如图1-69所示。量块组尺寸的计算如下（式中各字母含义参考图1-68、图1-69所示）：

$H_1 = a-2e \qquad H_2 = b-2f$

在有条件的地方，可直接使用机械或数显大量程百分表进行找正，而不需使用量块组。

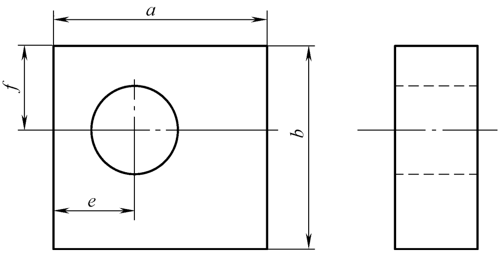


图 1-68　夹持部位与车削部位不同轴

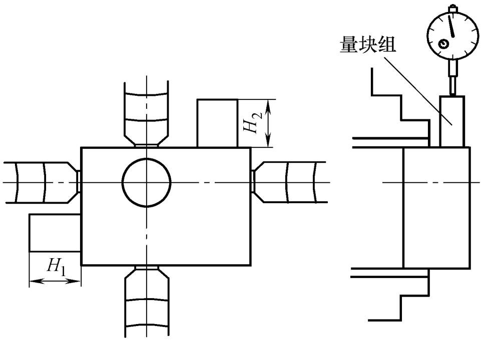


图 1-69　借助量块组找正

1.4.3　在花盘上安装、找正工件

当工件外形复杂，且被加工表面旋转轴线与基准面要求垂直时，如连杆、轴承座等，可以安装在花盘上加工，如图 1-70 所示。整个装夹与找正过程均在花盘上进行，常用夹具有角铁、V 形块、等高垫铁和压板、压板螺杆、平衡块等。具体的安装与找正操作将在后面“轴承座的车削”中详细介绍。

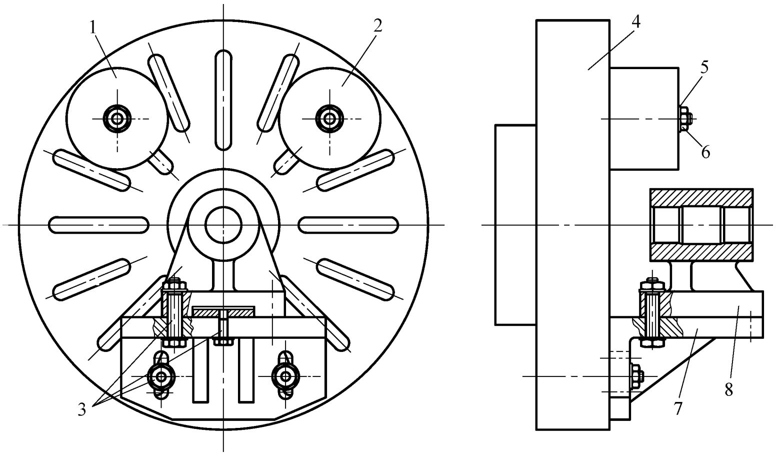


图 1-70　在花盘上安装、找正工件

1、2—平衡块　3—螺栓　4—花盘　5—垫圈　6—螺母　7—角铁　8—轴承座

1.5　精密量具及其测量方法

1.5.1　车工常用精密量具与量仪

精密测量工作应当在恒温条件下进行。恒温室的温度通常控制在（20±1）℃，

湿度小于65%。室内应清洁、无尘，照明条件好，配备有精密计量器具，大、小精密平板及常用量具、量仪等。

在机械制造中用来测量工件尺寸的计量器具有量具、计量仪器和计量装置。

凡能用以直接或间接测出被测对象量值的量具、计量仪器（仪表）和计量装置统称为计量器具。

量具是指以固定形式复现量值的计量器具。

计量仪器（仪表）是指将被测的量转换成可直接观测的指示值或等效信息的计量器具。

下面将介绍工厂常用的部分精密量具和计量仪器的测量原理及测量方法。

1. 千分表

千分表是一种指针式计量仪器，车削加工中使用较为广泛，可用于测量工件的形状误差和位置误差，同时也可用比较法测量工件的尺寸。千分表有钟面式千分表和杠杆千分表两种。

（1）钟面式千分表（又简称千分表） 钟面式千分表及其构造原理如图1-71所示，它利用齿轮和齿条之间的传动，将测量杆的微量直线位移转变为指针的角位移。其分度值有0.001mm和0.002mm两种。

钟面式千分表传动系统由齿条、齿轮传动及两对齿轮组成，测杆上的齿条齿距$P=0.5$mm，$z_1=40$，$z_2=120$，$z_3=16$，$z_4=160$，$z_5=12$，当测杆直线移动距离$a=0.2$mm时，长指针的转数n为

$$n=\frac{\frac{a}{P}}{z_1}\times\frac{z_2}{z_3}\times\frac{z_4}{z_5}=\frac{\frac{0.2}{0.5}}{40}\times\frac{120}{16}\times\frac{160}{12}=1 \quad (1\text{-}1)$$

刻度盘一周分成200格，每一格所表示的量值b为

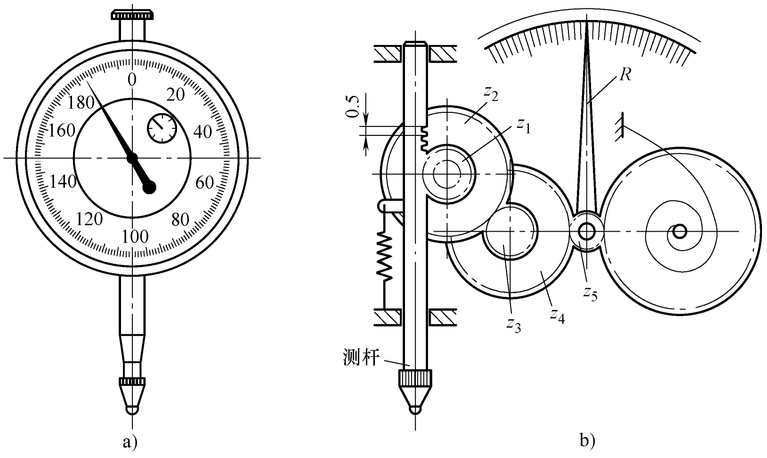


图1-71 钟面式千分表及其构造原理

a）外形图 b）构造原理图

$$b=\frac{0.2\text{mm}}{200}=0.001\text{mm}$$

游丝的作用是消除齿轮传动的啮合间隙所引起的误差，测量力由拉簧产生。

（2）杠杆千分表　分度值为 0.002mm 的杠杆千分表及其构造原理如图 1-72 所示。当球面测杆 7 向左摆动时，拨杆 6 推动扇形齿轮 5 上的圆柱销 C 使扇形齿轮 5 绕轴 B 逆时针方向转动，此时圆柱销 D 与拨杆 6 脱开。当球面测杆 7 向右摆动时，拨杆 6 推动扇形齿轮 5 上的圆柱销 D 也使扇形齿轮 5 绕轴 B 逆时针方向转动，此时圆柱销 C 与拨杆 6 脱开。这样，无论球面测杆 7 向左还是向右摆动，扇形齿轮 5 总是绕轴 B 逆时针方向转动。扇形齿轮 5 再带动小齿轮 1 以及同轴的端面齿轮 2，经小齿轮 4 由指针 3 在刻度盘上指示出数值。

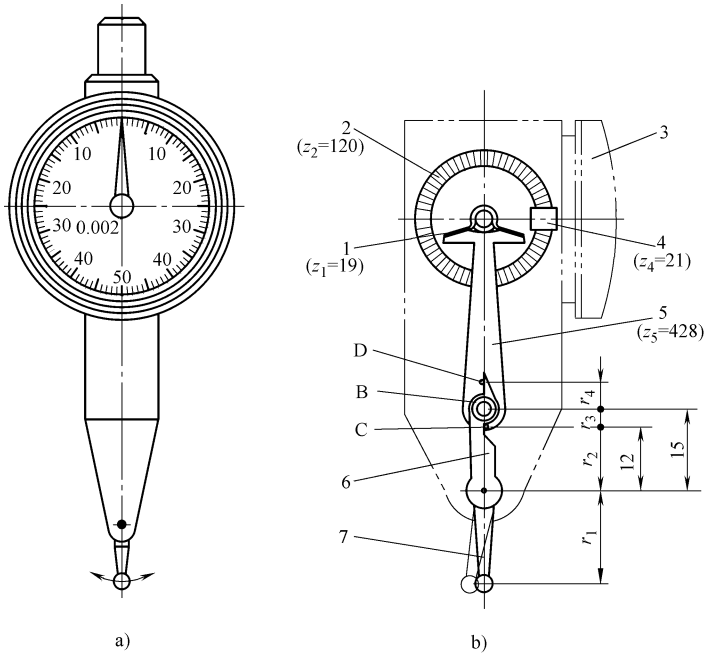


图 1-72　杠杆千分表及其构造原理

a）外形图　b）原理图

1、4—小齿轮　2—端面齿轮　3—指针

5—扇形齿轮　6—拨杆　7—球面测杆

如图 1-72b 所示，已知 $r_1=16.39\text{mm}$，$r_2=12\text{mm}$，$r_3=3\text{mm}$，$r_4=5\text{mm}$，$z_1=19$，$z_2=120$，$z_4=21$，$z_5=428$。当球面测杆 7 向左移动 0.2mm 时，指针 3 转数 n 为

$$n=\frac{0.2\text{mm}}{16.39\text{mm}}\times\frac{12}{2\pi\times3}\times\frac{428}{19}\times\frac{120}{21}\approx1 \tag{1-2}$$

当球面测杆 7 向右移动 0.2mm 时，指针 3 的转数 n 为

$$n=\frac{0.2\text{mm}}{16.39\text{mm}}\times\frac{20}{2\pi\times5}\times\frac{428}{19}\times\frac{120}{21}\approx1 \tag{1-3}$$

将刻度盘一周分成 100 格，每一格所表示的测量值 b 为

$$b=\frac{0.2\text{mm}}{100}=0.002\text{mm}$$

技能大师经验谈：

1）使用钟面式千分表测量时，千分表测杆轴线应垂直于被测工件表面，否则会产生测量误差。图 1-73 所示为测杆轴线与工件被测表面夹角正确的测量方法。

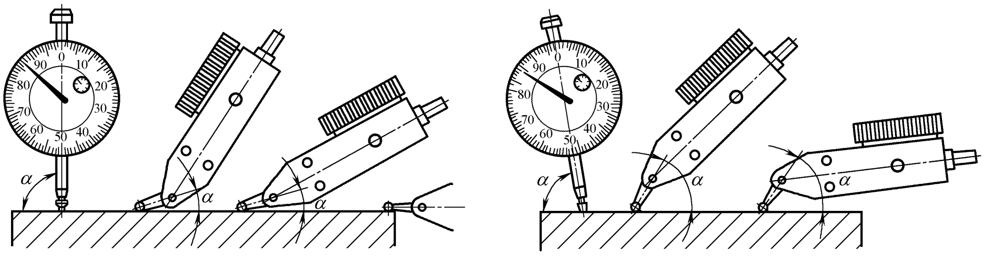


图 1-73　测杆轴线与工件被测表面夹角

a）正确的测量方法　b）错误的测量方法

2）使用杠杆千分表的测杆轴线与被测工件表面的夹角越小，误差就越小。如果由于测量需要，α 角无法调小（当 α>15°时），其测量结果应进行修正。如图1-74所示，当平面上升距离为 a 时，杠杆千分表摆动的距离为 b，也就是杠杆千分表的读数为 b，因为 $b>a$，所以指示读数增大。

$$a=b\cos\alpha$$

式中　a——平面上升距离（mm）；

b——杠杆千分表摆动的距离（mm）；

α——杠杆千分表测杆轴线与被测表面夹角（°）。

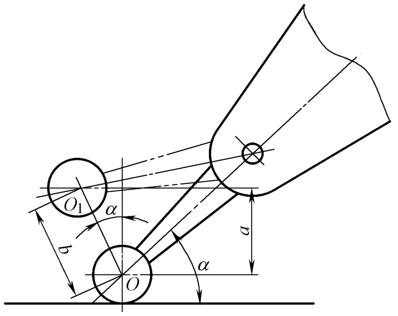


图 1-74　杠杆千分表测杆轴线位置引起的测量误差

3）千分表使用时应固定可靠，避免振动；测头不要突然接触被测件；将表调整好；不能超出千分表的测量范围；不得测量表面较粗糙的工件。

4）防止水或油等液体浸入表内和测杆上，否则易引起测量误差。

5）千分表不宜在磁场附近放置或使用，防止因机件磁化而失去应有的精度。

2. 杠杆千分尺

杠杆千分尺（图 1-75）是由千分尺的微分筒部分和杠杆齿轮传动放大部分组

成的精密量具。其精度高，主要用于精密测量。其分度值有 0.001mm 和 0.002mm 两种。它既可进行比较测量，也可进行绝对测量。

杠杆千分尺的工作原理如图 1-75b 所示。当活动测砧 1 移动时，通过杠杆 2、扇形齿轮 3 带动小齿轮 5 和装在同轴上的指针转动，在刻度盘上指示出活动测砧 1 的移动量。由游丝消除传动链中的间隙，测量力由压簧 6 产生。

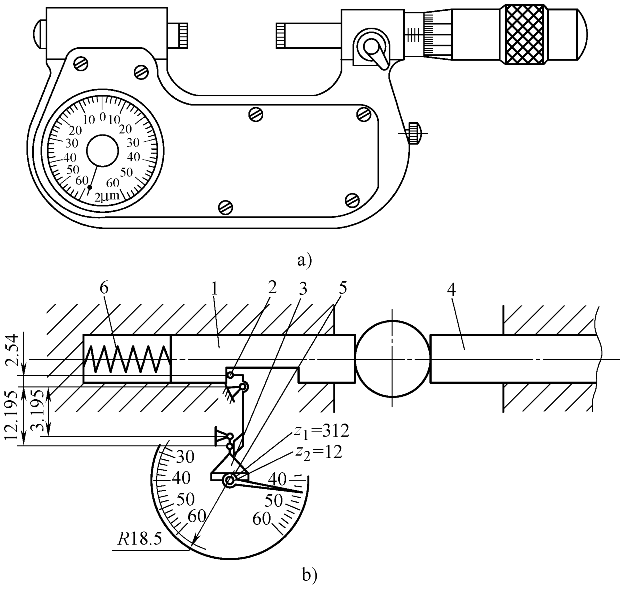


图 1-75　0~25mm 杠杆千分尺

a）外形图　b）原理图

1—活动测砧　2—杠杆　3—扇形齿轮　4—活动测杆　5—小齿轮　6—压簧

若杠杆短臂长 $r_1 = 2.54\text{mm}$，杠杆长臂长 $r_2 = 12.195\text{mm}$，小齿轮节圆半径 $r_3 = 3.195\text{mm}$，指针长度 $R = 18.5\text{mm}$，小齿轮齿数 $z_2 = 12$，扇形齿轮齿数 $z_1 = 312$，其传动放大比 k 为

$$k \approx \frac{r_2 R}{r_1 r_3}\ \frac{z_1}{z_2} = \frac{12.195\text{mm} \times 18.5\text{mm}}{2.54\text{mm} \times 3.195\text{mm}} \times \frac{312}{12} = 723$$

即活动测砧 1 移动 $a = 0.002\text{mm}$ 时，指针转过一格刻度值 b 为

$$b \approx ak = 0.002\text{mm} \times 732 = 1.446\text{mm}$$

技能大师经验谈：

1）使用杠杆千分尺进行相对测量时，必须用量块按被测工件的尺寸来调整杠杆千分尺。在读数时，应考虑量块或量块组的误差。

2）在用杠杆千分尺测量工件时，先按退让按钮，让工件与测量杆砧面轻轻接触，不允许硬卡。

3）测量工件前应放在铸铁平板上与室温等温后方可测量；测量时，操作应熟练、迅速，防止温度变化而影响测量精度。

4）测量工件直径时，应以指针的转折点读数为准。

3. 杠杆卡规

杠杆卡规是利用杠杆齿轮传动放大原理制成的量具，其分度值有 0.002mm 和 0.005mm 两种。它与量块配合可对工件进行相对测量，也可测置工件的形状误差。

杠杆卡规的工作原理如图 1-76a 所示。当活动测砧 1 移动时，通过杠杆 2、扇形齿轮 3 带动小齿轮 5 和装在同轴上的指针 7 转动，在刻度盘 8 上指示出活动测砧 1 的移动量。游丝 6 消除传动链中的间隙，测量力由弹簧 10 产生。为了减小测量面的磨损和测量方便，装有退让按钮 9。杠杆卡规的外形如图 1-76b 所示。

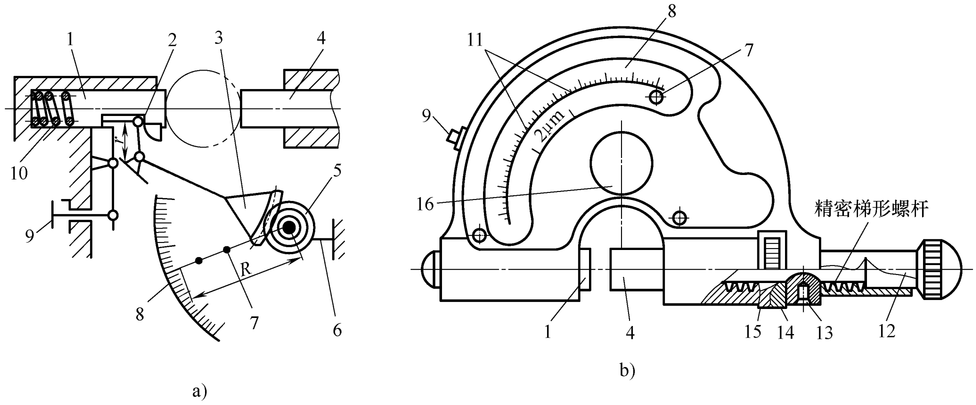


图 1-76　杠杆卡规

a）工作原理图　b）外形图

1—活动测砧　2—杠杆　3—扇形齿轮　4—可调测砧　5—小齿轮　6—游丝　7—指针　8—刻度盘　9—按钮　10—弹簧　11—公差指示器　12—套管　13—螺钉　14—滚花螺母　15—碟形弹簧　16—盖子

测置前，先旋松套管 12，把量块放入活动测砧 1 和可调测砧 4 之间，然后转动滚花螺母 14，使指针 7 对准刻度盘零位，最后旋紧套管 12，固定可调测砧 4。碟形弹簧 15 消除螺母与可调测砧上梯形螺纹的间隙，螺钉 13 防止可调测砧转动。取下盖子 16，可用专用扳手调整公差指示器。

若杠杆 2 的长度为 r，指针 7 的长度为 R，扇形齿轮 3 的齿数为 z_1，小齿轮 5 的齿数为 z_2，当活动测砧 1 移动距离 a 时，指针 7 转过的距离 b 为

$$b \approx \frac{a}{2\pi} \frac{z_1}{rz_2} \times 2\pi R = a \frac{R}{r} \frac{z_1}{z_2} \tag{1-4}$$

因此

$$\frac{b}{a} \approx \frac{R}{r} \frac{z_1}{z_2}$$

式中，b/a 为放大比，并令其等于 k，则

$$k=\frac{R}{r}\frac{z_1}{z_2} \tag{1-5}$$

当指针 7 的半径 R 越大，扇形齿轮 3 的齿数 z_1 越多，杠杆 2 的长度 r 越小，小齿轮 5 的齿数 z_2 越少时，放大比 k 越大。

4. 正弦规

正弦规（又名正弦尺）是以正弦函数原理进行间接测量的量具，如图 1-77 所示。

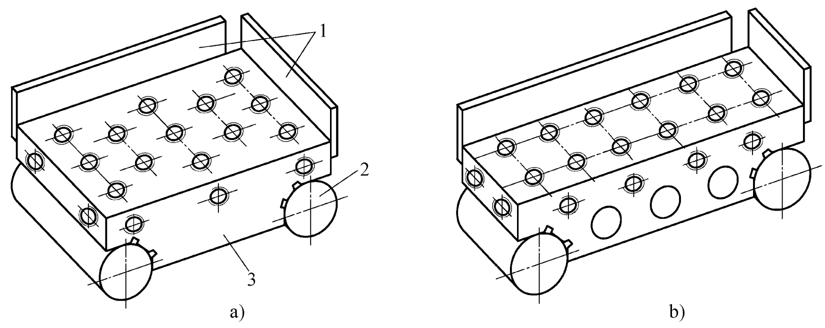


图 1-77　正弦规

a）宽型　b）窄型

1—挡板　2—圆柱　3—主体

正弦规主要由一高精度的工作平面和两个直径相同的精密圆柱组成，两圆柱轴线相互平行且中心连线平行于工作面。根据用途不同，分为宽型、窄型和带顶尖型等。

正弦规是按正弦函数原理进行测量的。使用时在正弦规的一圆柱下垫上尺寸为 h 的量块或量块组，使正弦规的工作平面与平板形成一角度 α，将该角度与被检工件的角度进行比较。

技能大师经验谈：

1）正弦规为精密量具，所以使用前一定要清洗干净。

2）被测工件表面粗糙度 Ra 值应小于 1.6μm；工件表面不允许有毛刺、污物，不得带有磁性。

2）正弦规应轻拿轻放，严禁敲打、拖动，以免磨损圆柱，影响精度。

3）正弦规使用完毕后应将其清洗干净，涂好防锈油并存放在专用盒内。

4）在正弦规上安放被测工件时，应利用正弦规的前挡板或侧挡板定位，以保证被测工件的角度横截面在正弦规圆柱轴线的垂直平面内，否则将带来测量误差。

5. 杠杆齿轮比较仪

杠杆齿轮比较仪的分度值为 0.001mm，测量范围为±0.05mm，其量程比千分

表小，但精度比千分表高。杠杆齿轮比较仪通常装在专用测量座上进行测量，如图 1-78 所示。测量时以量块尺寸作为标准，用比较法测量精密工件的尺寸，同时也可测量工件的形状误差和位置误差。

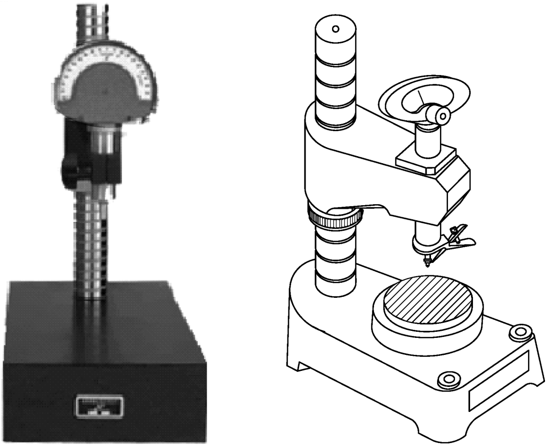
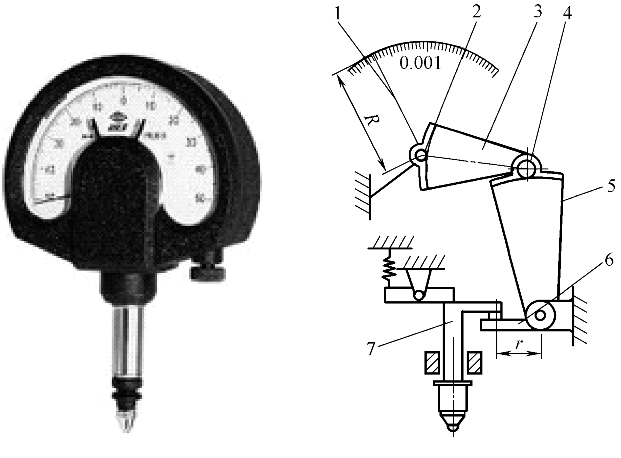


图 1-78 测量座

杠杆齿轮比较仪如图 1-79 所示。当测杆 7 移动时，通过杠杆 6 使扇形齿轮 5 转动，小齿轮 4 也跟着转动，与小齿轮 4 同轴的扇形齿轮 3 将运动传给小齿轮 2，指针 1 在刻度盘上指示出相应的读数。



a) b)

图 1-79 杠杆齿轮比较仪

a）外形图 b）原理图

1—指针 2、4—小齿轮 3、5—扇形齿轮 6—杠杆 7—测杆

若杠杆 6 的臂长为 r，指针 1 的长度为 R，齿轮 2、3、4、5 的齿数分别为 z_2、z_3、z_4、z_5。当测杆 7 移动距离 a 时，指针 1 转过的距离 b 为

$$b \approx \frac{a}{2\pi r}\frac{z_5}{z_4}\frac{z_3}{z_2}\times 2\pi R = \frac{aR}{r}\frac{z_5}{z_4}\frac{z_3}{z_2}$$

$$\frac{b}{a} \approx \frac{R}{r}\frac{z_5}{z_4}\frac{z_3}{z_2} \qquad (1\text{-}6)$$

式中，b/a 称为放大比，并令其等于 k，则

$$k \approx \frac{R}{r}\frac{z_5}{z_4}\frac{z_3}{z_2} \tag{1-7}$$

已知 $r=4.52\text{mm}$，$R=24.5\text{mm}$，$z_2=18$，$z_3=180$，$z_4=28$，$z_5=400$，则放大比 k 为

$$k \approx \frac{R}{r}\frac{z_5}{z_4}\frac{z_3}{z_2}=\frac{24.5}{4.25}\frac{400}{28}\frac{180}{18}=774$$

当测杆 7 移动距离 $a=0.001\text{mm}$ 时，指针转过 1 格的距离 b 为

$$b=ak=0.001\text{mm}\times 774=0.774\text{mm}$$

6. 扭簧测微仪

扭簧测微仪用扭簧作为尺寸转换和放大的传动机构，其突出特点是结构简单、放大倍数大、放大机构中没有摩擦和间隙，因此提高了测量精度和灵敏度，其外形图和原理图如图 1-80 所示。扭簧片 3 是截面为矩形（0.005mm×0.1mm×40mm）的铍青铜金属带，一端固定在弓架 1 上，另一端固定在弹簧桥 4 上，在扭簧中央装一指针 2，金属带由中间起一半向右扭曲，另一半向左扭曲，当测杆 5 向上有微小位移时，弹簧桥 4 的上端向右移，使扭簧片 3 拉长，用玻璃丝制成的位于扭簧带中央处的指针 2 偏转一个角度，指示出测杆 5 的位移量。

扭簧测微仪的测量方法与杠杆齿轮比较仪相同。另外，还可以将扭簧测微仪的表头装在表架上，在平台上进行各种测量。测量时表头应与被测工件表面垂直。

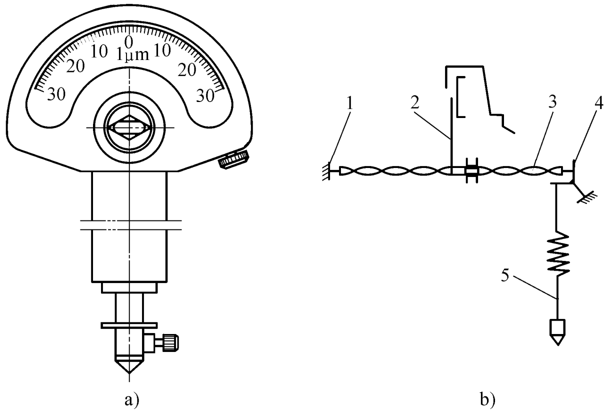


图 1-80　扭簧测微仪

a）外形图　b）原理图

1—弓架　2—指针　3—扭簧片　4—弹簧桥　5—测杆

技能大师经验谈：

1）杠杆齿轮比较仪和扭簧测微仪应先安装在固定测量座上。测量前，应先调整好测量座的测量工作台，使之垂直于杠杆齿轮比较仪和扭簧测微仪测杆轴线；再

调整测量座立柱，使测量头与量块或工件轻轻接触。

2）在测量过程中，应尽可能使用表刻度的中央部分。

3）扭簧测微仪的结构脆弱，测量范围小，应仔细调整测量头与工件间接触的距离；根据工件形状需要，及时更换测量头。

4）被测工件表面粗糙度 Ra 值应小于 1.6μm；工件表面不允许有毛刺、污物。应将工件放在铸铁平板上与室温等温后方可测量；测量时，操作应熟练、迅速，防止温度变化而影响测量精度。

7. 量块

量块是由两个相互平行的测量面之间的距离来确定其工作长度的一种高精度量具，主要用于长度基准尺寸的传递，如图 1-81 所示。量块也可用来检定计量器具，在相对测量中调整仪器的零位，还可用于调整精密机床。

量块是用铬锰钢、镍铬钢或轴承钢制成的矩形截面的长方体，它具有一对相互平行、精度高、表面粗糙度值小的测量工作面，每块量块上均标有公称尺寸，如图 1-82 所示。

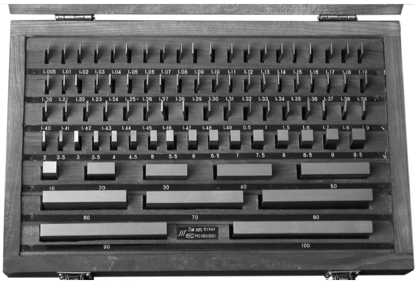


图 1-81　量块

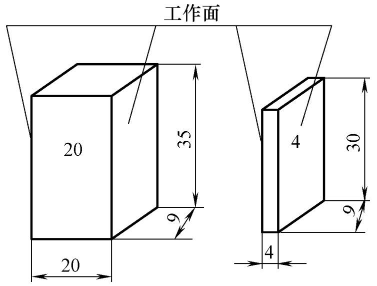


图 1-82　量块的工作面

量块的制造精度分 00、0、1、2、3 和 K 共六级，其中 00 级精度最高，3 级精度最低，K 级为校准级。量块分“级”的主要依据是量块的制造精度，它取决于量块中心长度的极限偏差、长度变动量公差和研合性。按级使用时，直接用量块所标注的公称尺寸，使用方便，但存在制造误差，测量结果准确性较差。

量块按检定精度分为 1、2、3、4、5、6 共六等，1 等精度最高，6 等精度最低。量块分“等”的主要依据是量块的检定精度，它取决于量块中心长度的极限偏差、平面平行度公差和研合性。按等使用时，使用被检定后量块的实际尺寸，测量精度高。

量块是成套使用的，可组成各种尺寸。当一块量块的工作表面沿另一块量块的工作表面滑动时，只要用手稍加压力，两块量块便能粘合在一起，因此，可用多个量块按需要组成量块组。用量块组合成一定的尺寸时，应用数量最少的量块组合成所需尺寸的量块组，一般不超过四块。选用量块时，应根据所需组合的尺寸，从最后一位数字开始选取，每选一块应使尺寸的位数减少一位，依次类推。

例如：要组成 38.935mm 尺寸的量块组，采用规格为 83 块一套的量块，选取方法如下：

$$
\begin{array}{ll}
 & 38.935\text{mm} \\
- & 1.005\text{mm 第一块} \\
\hline
 & 37.93\text{mm} \\
- & 1.43\text{mm 第二块} \\
\hline
 & 36.5\text{mm} \\
- & 6.5\text{mm 第三块} \\
\hline
 & 30\text{mm 第四块}
\end{array}
$$

技能大师经验谈：

1）量块只允许用于检定计量器具，进行精密测量和精密机床的调整。

2）使用量块之前，应仔细对量块和工件被测面外观进行检查。凡是有磁性的工件，进行退磁处理后方可使用量块。

3）组合量块组前，使用不带酸性的航空汽油、无水乙醇或纯苯清洗量块，用细软的鹿皮、脱脂棉、亚麻布或丝绸擦净量块，然后用平行研合法或交叉研合法进行组合。

4）使用后，应及时拆开量块组，清洗、擦净并涂好防锈油，放入专用盒内固定位置。

5）要定期对量块进行检定，并将检定合格证附在盒内。

8. 水平仪

水平仪是测量工件表面相对水平位置倾斜微小角度的一种常用量具，主要用于测量直线度误度和垂直度误度，可在调整安装设备水平或垂直位置时使用。

（1）框式水平仪　框式水平仪如图 1-83 所示。框架的测量面上有平面和 V 形槽，V 形槽便于放在圆柱面上测量。水平器是一个有一定曲率半径的密封玻璃管，表面有刻线，内装乙醚，并留有一个水平泡，水平泡总是停留在玻璃管内的最高处。若水平仪倾斜一个角度，水平泡就向左或向右移动，根据移动的距离可计算直线度误差或垂直度误差。

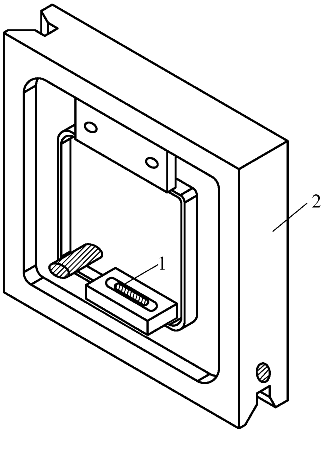


图 1-83　框式水平仪

1—主水平器　2—主体

水平仪的工作原理如图 1-84 所示。分度值为 0.02mm/1000mm 的水平仪，主水平器曲率半径 R= 103132mm，当平面在 1000mm 长度上倾斜 0.02mm 时，倾斜角 θ 为

$$\tan\theta = 0.02\text{mm}/1000\text{mm} = 0.00002$$

$$\theta = 4''$$

水平泡转过的角度与平面转过的角度相等，水

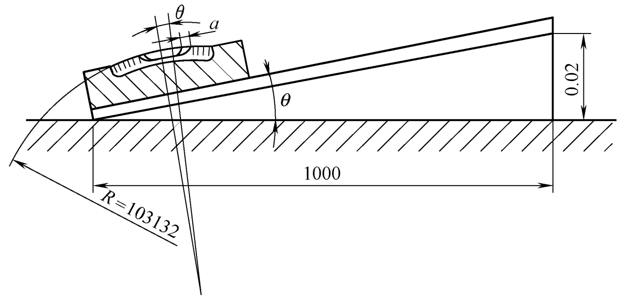


图 1-84　水平仪的工作原理

平泡移动 1 格的距离为

$$a=2\pi R\frac{\theta}{360}\times60\times60=2\pi\times103132\text{mm}\times\frac{4}{360}\times60\times60=2\text{mm}$$

即分度值为 0.002mm/1000mm 的水平仪，玻璃管刻线距离每格为 2mm。由此可知，水平仪是利用转动角度相同、曲率半径放大原理制成的量仪。

（2）合像水平仪　合像水平仪是一种测量精度较高、测量范围较大、携带方便的小角度测量仪器，如图 1-85 所示。水平器 7 的气泡通过合像棱镜 8 将气泡两端的半边缘同时成像在瞄准放大镜 1 的视场中。

使用时，将水平仪放在被测工件上，当倾斜一定角度时，从瞄准放大镜 1 中看到两端半边缘像合在一起有一错位，用手转动微动螺杆 4，通过杠杆 2 使水平器 7 微转，直到气泡两端边缘的影像合成为一光滑的半圆头为止。整数部分的读数由刻度 6 读出，小数部分的读数从刻度盘 3 上读得。例如：刻度指示 1mm，刻度盘转过 16 格，读数就是 1.16mm，即 1m 长度内高度差为 1.16mm。

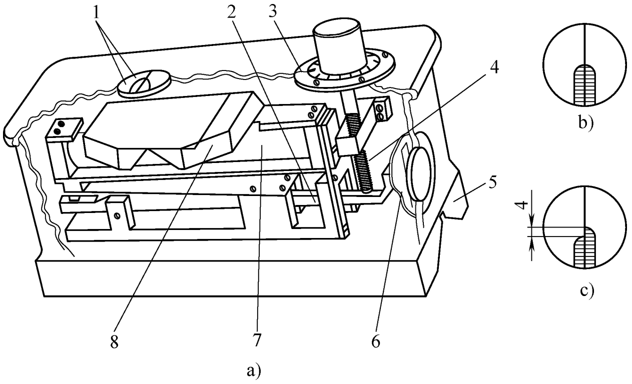


图 1-85　合像水平仪

1—瞄准放大镜　2—杠杆　3—刻度盘　4—微动螺杆　5—底座

6—刻度　7—水平器　8—合像棱镜

1.5.2　常用的尺寸测量方法

零件的加工质量包括加工精度和表面质量。其中加工精度有尺寸精度、形状精度和位置精度，表面质量的指标有表面粗糙度、表面加工硬化的程度、残余应力的性质和大小。这里主要介绍尺寸精度及其检测和形状、位置精度及其检测。

尺寸精度是指实际零件的尺寸和理想零件的尺寸相符合的程度，即尺寸准确的程度，尺寸精度是由尺寸公差（简称公差）控制的。公差等级高，公差值小，精确程度高；反之则公差值大，精确度低。同一公称尺寸的零件，公差值的大小就决定了零件的精确程度，公差值小的，精度高，公差值大的，精度低。

机械制造工业中用来测量或检验工件尺寸的器具有量具和计量仪器（简称量仪）两大类。其中量具是指那些能直接表示出长度的单位界限的简单计量用具，如钢尺、游标卡尺、千分尺、量块、塞规和卡规等。量仪是利用机械、光学、气动、电动等原理将长度放大或细分的测量器具，如百分表、千分表、扭簧测微仪和水平仪等。用以上器具来检测，若测得尺寸在上极限尺寸与下极限尺寸之间，则零件合格。若测得尺寸大于最大实体尺寸，则零件不合格，需进一步加工。若测得尺寸小于最小实体尺寸，则零件报废。

（1）内外径、长度、深度、槽宽的检测

1）外径尺寸的测量。测量外径时，一般精度尺寸常选用游标卡尺、卡规等，精度要求较高时则选用千分尺等精密量具。外径千分尺的种类如图 1-86 所示。

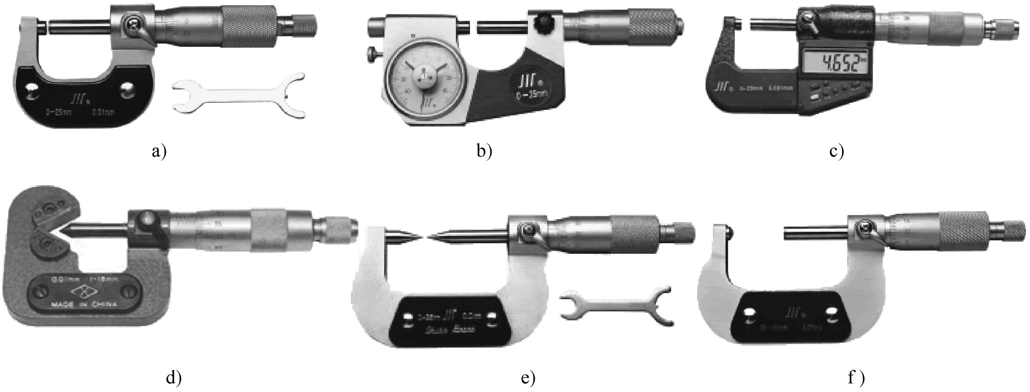


图 1-86　外径千分尺的种类

a）普通外径千分尺　b）杠杆外径千分尺　c）数显外径千分尺

d）三沟外径千分尺　e）尖头千分尺　f）壁厚千分尺

2）内径尺寸的测量。测量孔径尺寸时，应根据工件的尺寸、数量和精度要求，采用相应的量具。若精度要求较低，可采用钢直尺、内卡钳、塞规、游标卡尺测量，若精度要求较高，可采用内径千分尺、内测千分尺、内径百分表测量。常用

的内径测量量具如图 1-87 所示。

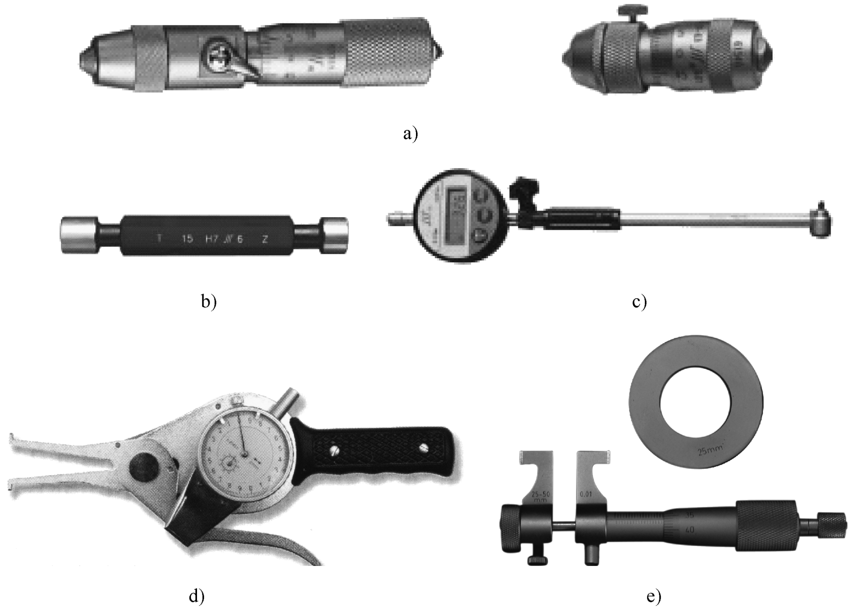


图 1-87　常用的内径测量量具

a）内径千分尺　b）光滑圆柱塞规　c）内径百分表　d）内径卡规　e）内测千分尺

3）长度、深度、槽宽的测量。长度一般指外表面的尺寸，如台阶面到某一端面的距离。若尺寸精度要求不高，可采用钢直尺、样板、游标卡尺、游标深度卡尺等测量，常用量具如图 1-88 所示。若尺寸精度要求较高，也可将工件置于检验平板上，使用百分表或杠杆百分表和量块进行比较测量。

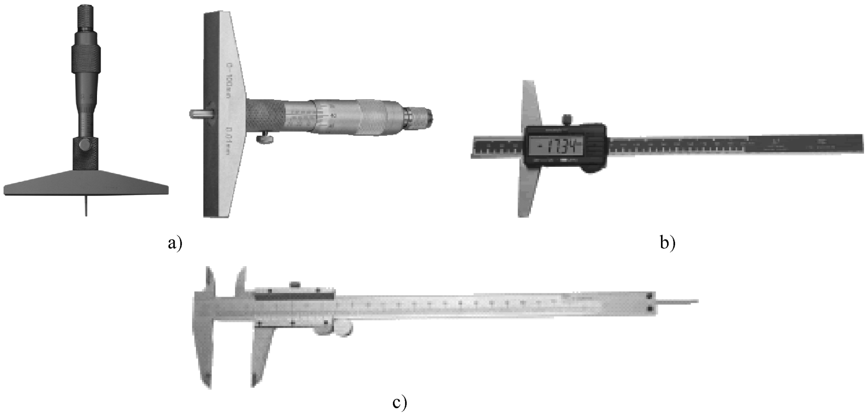


图 1-88　长度、深度和槽宽的测量

a）深度千分尺　b）游标深度卡尺　c）游标卡尺

（2）圆锥锥度的检查方法

1）用万能角度尺检查锥度 。对于角度零件或精度要求不高的圆锥表面，可用万能角度尺检查锥度，如图 1-89 所示。先把万能角度尺调整到要测量的角度范围内，使万能角度尺的角尺面和工件端面（通过工件中心）靠平，钢直尺和工件斜面接触，通过透光法来测量角度的大小。

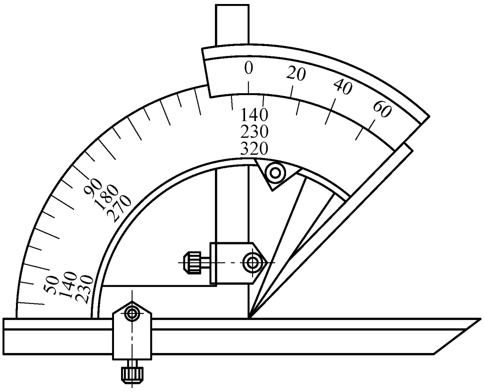


图 1-89　万能角度尺

技能大师经验谈：

测量前应先修去工件毛刺，保持工件、量具表面清洁；万能角度尺的尺面必须通过工件中心对称面，且基面和工件基准面吻合；读数时，要先拧紧万能角度尺上的固定螺钉，然后离开工件，以免角度发生变化，使测量值产生误差。

2）用锥度量规检验锥度和尺寸。用着色法先在工件表面上顺着工件素线在全长上薄而均匀地涂上三条经配制的红丹或蓝油，然后把套规轻轻地套在工件上，与工件反复对研。注意转动范围应在半圈之内。取下套规观察工件锥面上“复印”的红丹痕迹，来判断锥度的准确性，并通过量规上的通止端线判断圆锥尺寸，如图 1-90 所示。

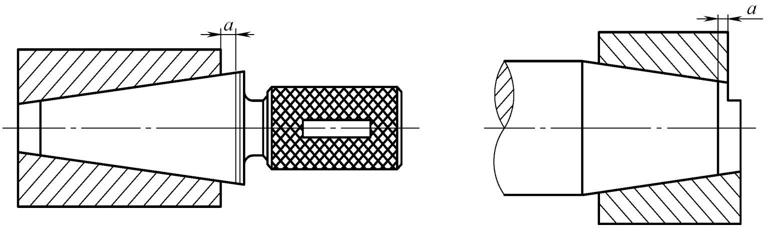


图 1-90　用锥度量规测量

3）用正弦规检验锥度。检验时，将正弦规放置在精密平板上，工件放置在正弦规的工作台上，在正弦规的一个圆柱下面垫上一组量块，量块组的高度可根据被测工件的圆锥角通过计算获得，然后用百分表（或测微仪）检验工件圆锥上素线两端高度，若两端高度相等，则说明工件的角度或锥度正确；若两端高度不相等，则说明工件的角度或锥度有误差。

正弦规的应用方式较多，常用于检测工件的角度和锥度。

用正弦规测量圆锥角如图 1-91 所示，应先按被测量圆锥角公称值 α' 计算量块组尺寸 h，组成一个标准角度 α。

$$h = L\sin\alpha$$

式中　L——正弦规两圆柱之间的中心距（mm）；

α——被测工件圆锥角的公称值（°）。

将正弦规放在平板上，其中一个圆柱与平板接触，在另一个圆柱下垫尺寸为 h 的量块组，使正弦规主体工作平面相对于平板倾斜一个标准角度 α。放上被测圆锥后，用千分表分别测量被测圆锥上侧素线上的 a 与 b 两点（a 与 b 两点间的距离为 l），a 与 b 两点处的读数分别为 r_a、r_b。如果 $r_a \neq r_b$，则说明被测圆锥工件的圆锥角与标准角度 α 存在锥度误差，锥度误差的计算公式为：

$$\Delta C=\frac{r_a-r_b}{l} \quad (\mathrm{rad}) \tag{1-8}$$

$$\Delta\alpha=\Delta C\times2\times10^5('')$$

式中　ΔC——锥度误差（rad）；

$\Delta\alpha$——圆锥角误差（″）；

r_a——圆锥 b 点的读数（mm）；

r_b——圆锥 b 点的读数（mm）。

用 1rad =57.3°≈(2×10⁵)″作为弧度对秒的换算系数，得出被测圆锥锥角（α）的误差 ΔC。

例　用中心距 $L=200$mm 的正弦规测量莫氏 4 号锥度塞规，公称圆锥角为 2°58′30.6″（2.975179°），按图 1-91 所示的方法进行测量，若测量点 a 与 b 间的距离 $l=80$mm，$r_a-r_b=0.01$mm，试求该锥度塞规的锥度误差和实际圆锥角大小。

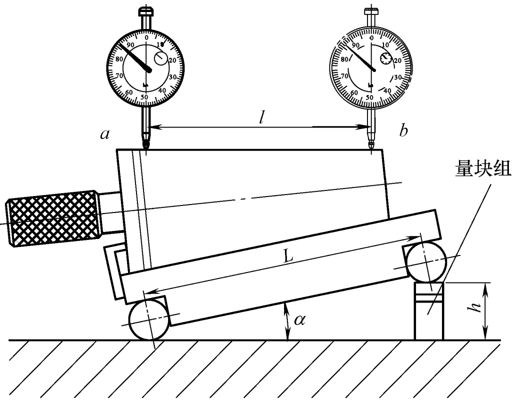


图 1-91　用正弦规测量圆锥角

解　已知 $L=200$mm，$l=80$mm，则

$$h=L\sin\alpha'=200\mathrm{mm}\times\sin2.975179°=10.381\mathrm{mm}$$

$$\Delta C=r_a-r_b/l=0.01\mathrm{mm}/80\mathrm{mm}=0.000125\mathrm{rad}$$

$$\Delta\alpha=\Delta C\times2\times10^5=0.000125\mathrm{rad}\times2\times10^5=25''$$

由于 $r_a-r_b=0.01$mm，即 a 点比 b 点高，实际圆锥角大于公称圆锥角。

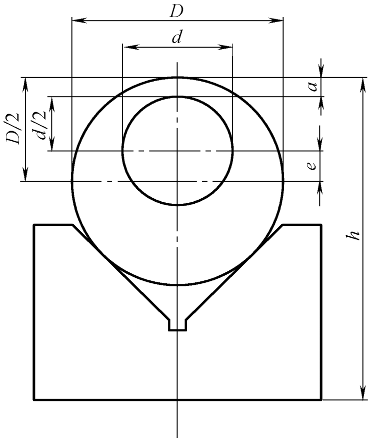
$$\alpha_{实际}=\alpha'+\Delta\alpha=2°58'30.6''+25''=2°58'55.6''$$

（3）偏心距的检验

1）当偏心距 e 精度要求不高时，用游标深度卡尺测出两圆柱面之间的最小距离 a，然后按下式计算出偏心距 e：

$$e=\frac{D-d}{2}-a \tag{1-9}$$

2）当偏心距 e 精度要求较高时，检查方法如下：用百分表按上述方法精确测量出偏心距 e，如图 1-92 所示。D、d 值需用千分尺测出，然后按公式计算出偏心距 e；对于在卡盘上的偏心工件或两端有中心孔的偏心轴，均可将百分表的测头接触偏心部分，用手转动偏心轴，百分表上指示出的最大、最小值之差的一半就是偏心距 e。



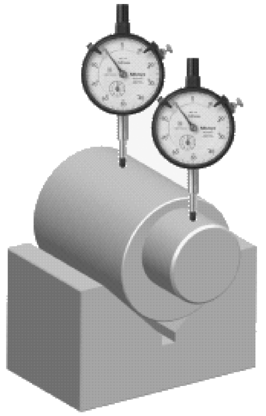


图 1-92　偏心距的间接测量方法

3）用百分表和车床中滑板配合测量偏心距。对于偏心距较大的工件，可在车床上利用中滑板的刻度来补偿百分表测量范围的不足。测量时，首先使百分表与工件偏心外圆接触，找出最高点，记下读数及中滑板的刻度值，随后将工件转过 180°，再摇进中滑板，找出偏心圆的最低点，使百分表与工件偏心圆的最低点接触，并调整中滑板保持百分表的原读数。这时从中滑板的刻度盘上所得出的中滑板的移动距离即是两倍的偏心距。

（4）普通螺纹的检测

1）大径的测量。螺纹大径尺寸要求不高，公差带较宽，可以用游标卡尺或外径千分尺测量。

2）螺距的测量。螺距可以用钢直尺测量。普通螺纹的螺距一般较小，在测量时，最好多测量几个螺距的长度，然后用量得的螺距长度除以螺距的个数，即得出一个螺距的尺寸。如果螺距较大，可以量出 2 或 4 个螺距长度，再计算出螺距的尺寸。

细牙螺纹的螺距较小，用钢直尺测量比较困难，一般用螺距规测量。测量时，把螺距规片平行于轴线方向嵌入牙形中，如果完全符合，则说明被测螺纹的螺距完全正确。

3）中径的测量。

① 用螺纹千分尺测量三角形螺纹的中径。螺纹千分尺的结构和使用方法与普

通的外径千分尺相似，只是它的两个测量触头是和螺纹牙型相同的一个圆锥体和一个凹槽。在测量时，两个触头正好卡在螺纹的牙形面上，此时千分尺的读数就是该螺纹的中径。

螺纹千分尺备有一系列的牙型面和不同螺距的测量触头。测量不同规格的三角形螺纹中径时，需要调换适当的测量触头，如图 1-93 所示。

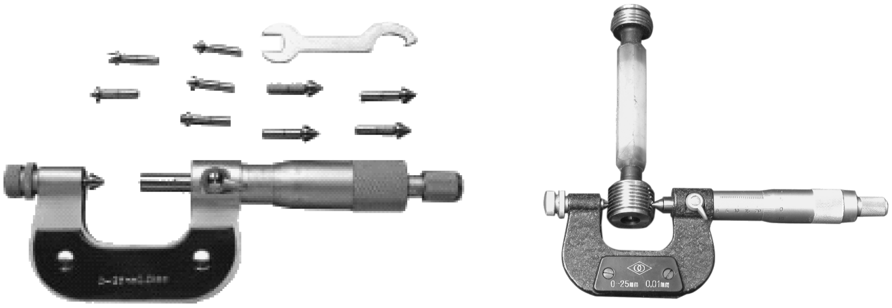


图 1-93　螺纹千分尺

② 量针测量法。量针直径和精度的选择：满足与牙型侧面在被测螺纹中径素线处相切的量针直径称为“最佳针径”，最佳量针直径的简化式见表 1-10，采用最佳量针测量，可使螺纹牙型半角误差的影响为零。

表 1-10　最佳量针直径简化式

普通螺纹	55°英制螺纹	梯形螺纹
0. 57735*P*	0. 56370*P*	0. 51765*P*

常用的量针测量法有螺纹中径三针测量法和单针测量法，当采用三针测量法测量外螺纹中径时，用同一组三根量针按图 1-94 所示位置放进被测螺纹两边的牙槽内，利用外径千分尺或杠杆千分尺、光学计及测长仪等精密量仪直接测得量针外侧面间距尺寸 *M*，再计算出被测螺纹的实际中径。常用量针直径尺寸系列见表 1-11。常用螺纹的中径计算公式见表 1-12。

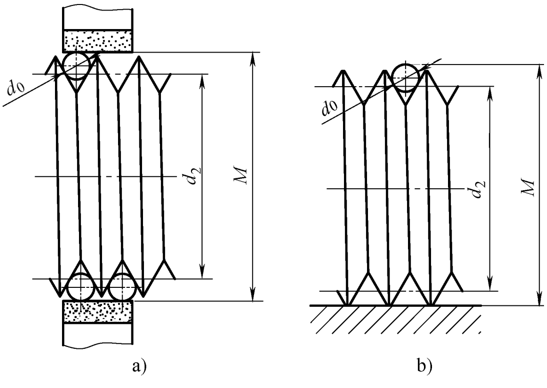


图 1-94　螺纹中径的量针测量法
a）三针测量　b）单针测量

表 1-11　常用量针直径尺寸系列

0. 118	0. 201	0. 291	0. 433	0. 724	1. 157	2. 020	3. 177
0. 142	0. 232	0. 343	0. 461	0. 866	1. 441	2. 311	3. 486
0. 170	0. 260	0. 402	0. 572	1. 008	1. 732	2. 886	—

表 1-12　常用螺纹的中径计算公式

螺纹类型	牙型角 α	中径计算公式
普通螺纹	60°	$d_2=M-(3d_0-0.866P)$
55°英制螺纹	55°	$d_2=M-(3.1657d_0-0.9605P)$
梯形螺纹	30°	$d_2=M-(4.8637d_0-1.866P)$

4）螺纹的综合测量。综合测量螺纹之前，首先应对螺纹的直径、牙形和螺距进行检查，然后用螺纹量规进行测量。使用螺纹量规时，不应用力拧转，以免损坏测量面，使它的精度降低。通常用螺纹环规和塞规对螺纹的各项尺寸精度进行综合测量。环规用来测量外螺纹尺寸精度，塞规用来测量内螺纹尺寸精度。在测量螺纹时，如果量规通端正好拧进去，而止端拧不进去，则说明螺纹精度符合要求。在实际生产中，对精度要求不高的，也可以用标准螺母和螺钉检查，以拧上工件时是否顺利和松动的感觉来判断。

（5）蜗杆的测量

1）用游标齿厚卡尺测量蜗杆法向齿厚，如图 1-95 与图 1-96 所示。

为了提高测量精度，还可将齿厚偏差换算成三针测量时的跨棒距偏差，利用单针测量法测量，如图 1-97 所示。当 $\alpha=20°$时，单针测量计算公式为：

$$A=\frac{M+d}{2}$$

$$\Delta M=2.7475\Delta S$$

$$\Delta A=\frac{\Delta M}{2}=\frac{2.7475}{2}\Delta S=1.3737\Delta S \tag{1-10}$$

式中　A——单针测量时千分尺的测量尺寸（mm）；

M——三针测量时千分尺的测量尺寸（mm）；

ΔM——三针测量时的跨棒距偏差（mm）；

d——蜗杆外径实测直径（mm）；

ΔA——单针测量时量针测量距偏差（mm）；

ΔS——齿厚偏差（mm）。

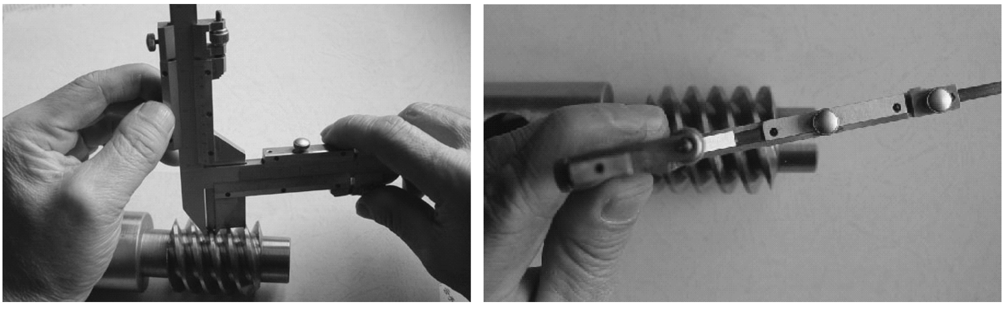


图 1-95　用游标齿厚卡尺测量法向齿厚

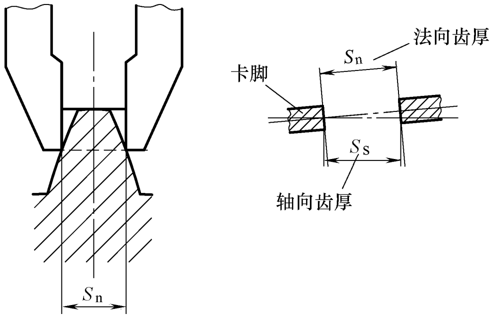


图 1-96　游标齿厚卡尺卡脚的测量情况

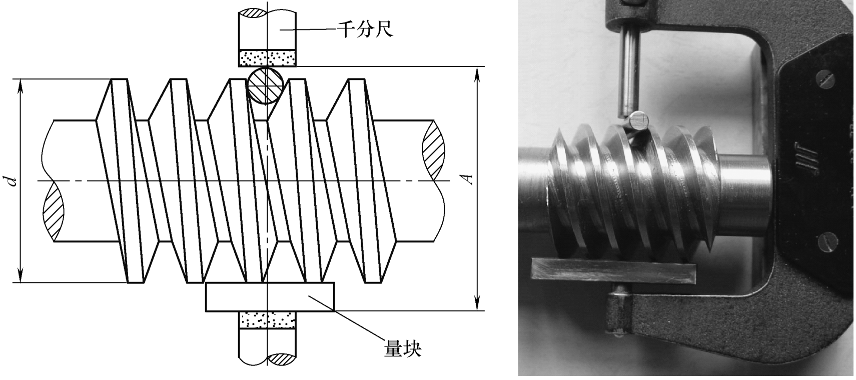


图 1-97　蜗杆的单针测量法

2）蜗杆齿顶圆径向圆跳动可用百分表在偏摆仪上检测，用手缓慢转动蜗杆一周，百分表测头读数的最大变动量即为径向圆跳动误差。

3）检测阿基米德蜗杆齿形误差应在轴向截面上进行，用万能工具显微镜等仪器检测。

技能大师经验谈：

由于单针测量是以齿顶圆直径作为测量基准的，虽然图 1-97 中已将 d 定为齿顶圆实测尺寸，但为保证测量精度，车削时必须保证齿顶圆直径与蜗杆分度圆的同轴度。

1.5.3　常用形状和位置精度的检验

1. 直线度误差的检测

（1）检测圆柱体和长方体直线度误差（图 1-98）

1）检验量、器具：平尺（或样板直尺）、塞尺。

2）装夹和操作方法：

① 将平尺或样板直尺与被测素线直接接触，并使两者之间的最大间隙为最小，

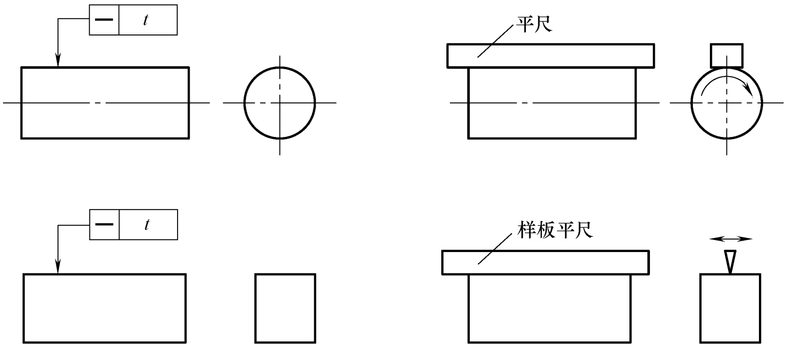


图 1-98　检测圆柱体和长方体直线度误差

此时的最大间隙即为该条被测素线的直线度误差。误差的大小应根据光隙测定。当光隙较小时，可按标准光隙来估读；当光隙较大时，则可用塞尺测量。

② 按上述方法测量若干条素线，取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差。

（2）检测圆锥体直线度误差（图 1-99）

1）检验量、器具：平板、固定和可调支承、测量架、百分表或千分表。

2）装夹和操作方法：将被测素线的两端点调整到与平板等高。

① 在被测素线的全长范围内测量，同时记录读数，根据记录的读数用计算法（或图解法）按最小条件（也可按两端点连线法）计算直线度误差。

② 按上述方法测量若干条素线，取其中最大的误差值作为该被测零件的直线度误差。

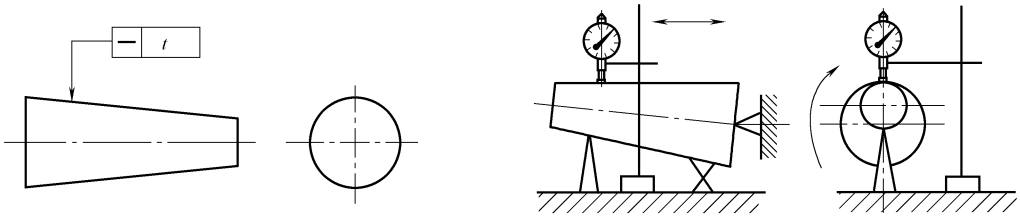


图 1-99　检测圆锥体直线度误差

（3）在偏摆检查仪上检测轴类零件的直线度误差（图 1-100）

1）检验量、器具：平板、顶尖架或偏摆检查仪、百分表、支架、百分表或千分表。

2）装夹和操作方法：将被测零件安装在平行于平板的两顶尖之间。

① 沿铅垂轴线截面的两条素线测量，同时分别记录两指示表在各自测点的读数 M_a，M_b；取各测点读数差之半$\left(即\dfrac{M_a-M_b}{2}\right)$中的最大差值作为该截面轴线的直线

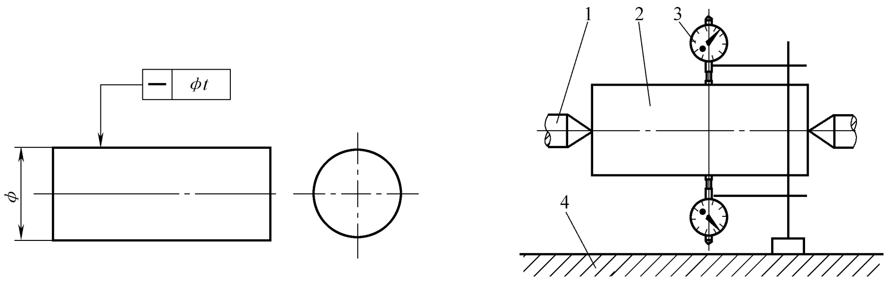


图 1-100　在偏摆检查仪上检测轴类零件的直线度误差

1—顶尖架　2—被测零件　3—指示表　4—平板

度误差。

② 按上述方法测量若干条素线的若干个截面，取其中最大的误差值作为该被测零件轴线的直线度误差。

2. 平面度误差的检测

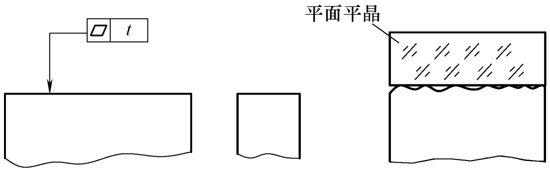


图 1-101　测量高精度小平面的平面度

（1）测量高精度小平面的平面度误差（图 1-101）

1）检验量、器具：平面平晶。

2）操作方法：将平面平晶工作面贴在被测表面上，稍加压力，就有干涉条纹出现。被测表面的平面度误差为封闭的干涉条纹数乘以光波波长之半，对于不封闭的干涉条纹，为条纹的弯曲度与相邻两条纹间距之比再乘以光波波长之半。

此方法适用于测量高精度的小平面。

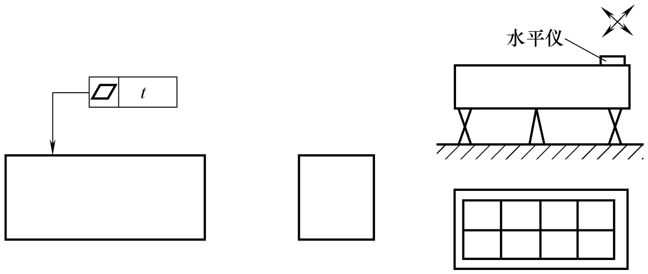


图 1-102　用水平仪检测平面度误差

（2）用水平仪检测平面度误差（图 1-102）

1）检验量、器具：平板、水平仪、桥板、固定和可调支承。

2）装夹和操作方法：把被测表面调到水平位置，用水平仪按一定的布点和方向逐点地测量被测表面，同时记录读数，并换算成线值。

根据各线值用计算法（或图解法）按最小条件（也可按对角线法）计算平面度误差。

3. 圆度误差的检测

（1）检测圆锥和圆柱体圆度误差之一（图 1-103）

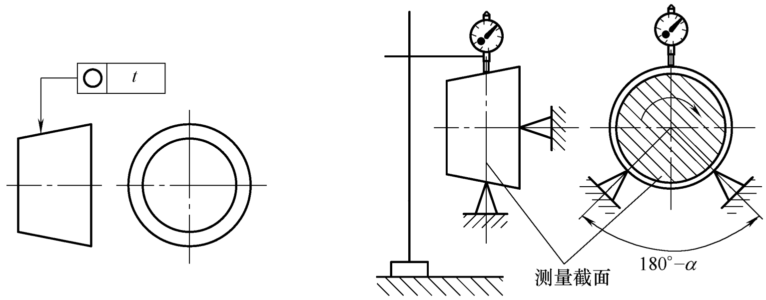


图 1-103　检测圆锥和圆柱体圆度误差之一

1）检验量、器具：平板、带指示表的测量架、V 形架、固定和可调支承。

2）装夹和操作方法：将被测零件放在 V 形架上，使其轴线垂直于测量截面，同时固定轴向位置。

① 在被测零件回转一周的过程中，指示表读数的最大差值之半为该截面的圆度误差。

② 按上述方法测量若干个截面，取其中最大的误差值作为该零件的圆度误差。

此方法测量结果的可靠性取决于截面形状误差和 V 形架夹角的综合效果。常用夹角 α = 90°和 120°或 72°和 108°的两块 V 形块分别测量。

此方法适用测量内外表面的奇数棱形状误差（偶数棱形状误差采用两点法测量）。测量时可以转动被测零件，也可转动量具。

（2）检测圆锥和圆柱体圆度误差之二（图 1-104）

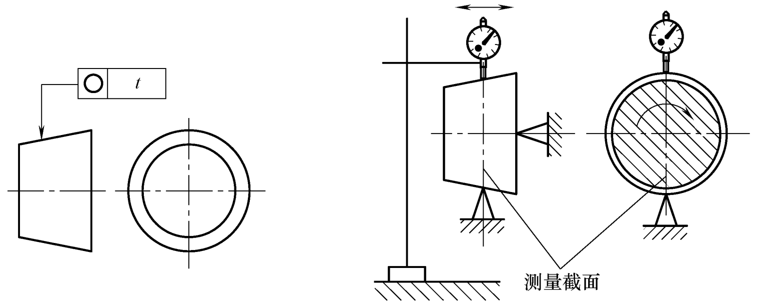


图 1-104　检测圆锥和圆柱体圆度误差之二

1）检验量、器具：平板、带指示表的测量架、支承、千分尺。

2）装夹和操作方法：将被测零件轴线垂直于测量截面，同时固定轴向位置。

① 在被测零件回转一周的过程中，指示表读数的最大差值之半为单个截面的

圆度误差。

② 按上述力法，测量若干个截面，取其中最大的误差值作为该零件的圆度误差。

此方法适用于检测内外表面的偶数棱形状误差（奇数棱形状误差采用三点法测量）。测量时可以转动被测零件，也可以转动量具。

两点法测量圆度误差的方法与用千分尺测量外径、用内径百分表测量内径的方法相同，在圆周不同位置上多测量几处，取直径上两点的最大差值之半作为圆度误差。

4. 圆柱度误差的检测

（1）检测圆柱体、轴的圆柱度误差之一（图 1-105）

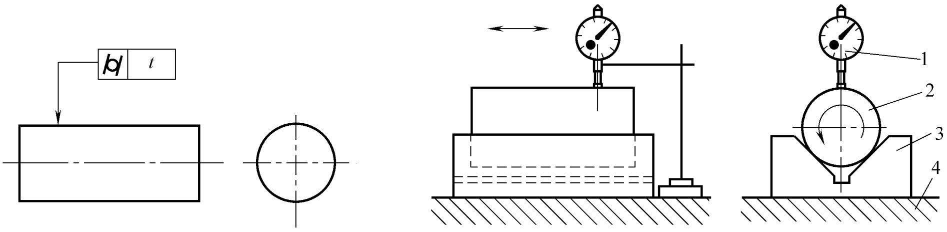


图 1-105　检测圆柱体、轴的圆柱度误差之一

1—指示表　2—被测零件　3—V 形架　4—平板

1）检验量、器具：平板、V 形架、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：三点法测量圆柱度。将被测零件放在平板上长度大于零件长度的 V 形架内。

① 在被测零件回转一周的过程中，测量一个横截面上最大与最小读数。

② 按上述方法，连续测量若干个横截面，然后取各截面内所测得的所有读数中最大与最小读数的差值之半作为该零件的圆柱度误差。此方法适用于测量外表面的奇数棱形状误差。

为测量准确，通常使用夹角 $\alpha = 90°$和 $120°$的两个 V 形架分别测量。

（2）检测圆柱体、轴的圆柱度误差之二（图 1-106）

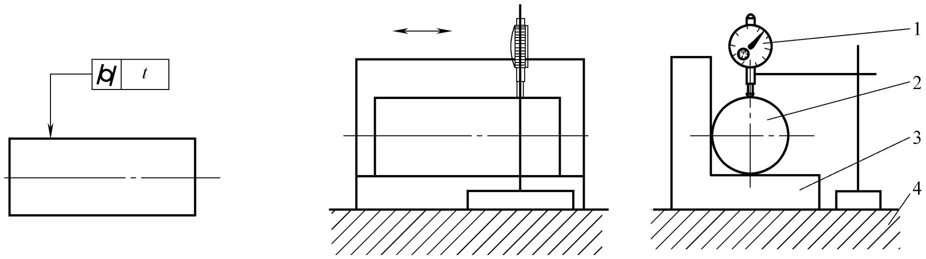


图 1-106　检测圆柱体、轴的圆柱度误差之二

1—指示表　2—被测零件　3—直角座　4—平板

1）检验量、器具：平板、直角座、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：两点法测量圆柱度。将被测零件放在平板上，并紧靠直角座。

① 在被测零件回转一周的过程中，测量一个横截面上的最大与最小读数。

② 按上述方法，测量若干个横截面，然后取各截面内所测得的所有读数中最大与最小读数差之半，作为该零件的圆柱度误差。

此方法适用于测量外表面的偶数棱形状误差。

5. 线轮廓度误差的检测（图 1-107）

1）检验量、器具：轮廓样板。

2）装夹和操作方法：将轮廓样板按规定的方向放置在被测零件上，根据光隙法估读间隙的大小，取最大间隙作为该零件的线轮廓度误差。

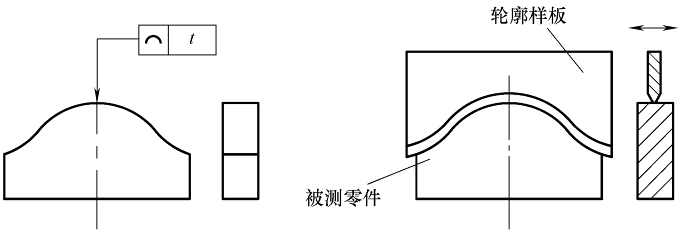


图 1-107　线轮廓度误差的检测

6. 平行度误差的检测

（1）两平行面的平行度误差检测（图 1-108）

1）检验量、器具：平板、支架、百分表或千分表。

2）装夹和操作方法：将被测零件放在平板上，在整个被测表面上按规定测量线进行测量。

① 取指示表的最大与最小读数之差作为该零件的平行度误差。

② 取各条测量线上任意给定 l 长度内指示表的最大与最小读数之差作为该零件的平行度误差。

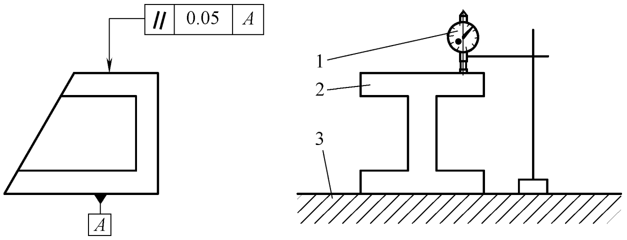


图 1-108　两平行面的平行度误差检测

1—指示表　2—被测零件　3—平板

（2）内孔相对基准平面平行度误差的检测（图 1-109）

1）检验量、器具：平板、带指示表的测量架、心轴。

2）装夹和操作方法：将被测零件直接放置在平板上，被测轴线由心轴模拟。在测量距离为 L_2 的两个位置上测得的读数分别为 M_1 和 M_2。则

平行度误差 $f=\frac{L_1}{L_2}|M_1-M_2|$，其中 L_1 为被测零件的轴线长度。

测量时应选用可胀式（成与孔成无间隙配合）心轴。

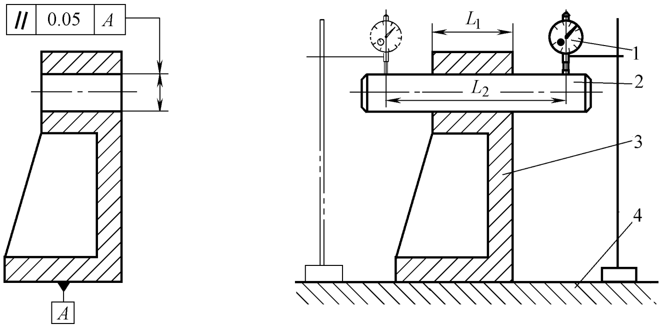


图 1-109　内孔相对基准平面平行度误差的检测

1—指示表　2—心轴　3—被测零件　4—平板

7. 垂直度误差的检测

（1）直角座类工件垂直度误差的检测（图 1-110）

1）检验量、器具：平板、直角座、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：将被测零件的基准面固定在直角座上，同时调整靠近基准的被测表面的读数差为最小值，取指示表在整个被测表面各点测得的最大与最小读数之差，作为该零件的垂直度误差。

。

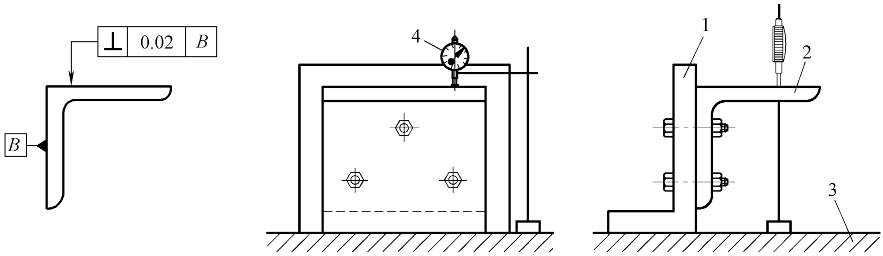


图 1-110　直角座类工件垂直度误差的检测

1—直角座　2—被测零件　3—平板　4—指示表

（2）阶台轴外圆相对端面垂直度误差的检测（图 1-111）

1）检验量、器具：方箱、平板、带指示表的磁力表座。

2）装夹和操作方法：将被测零件放置在平板上，在相互垂直的两个方向（x、

y）上测量。

在距离为 L_2 的两个位置测量被测轮廓要素与方箱的距离 M_1 和 M_2 及相应的轴径 d_1 和 d_2。则测量方向上的垂直度误差为：

$$f=\left|(M_1-M_2)+\frac{d_1-d_2}{2}\right|\frac{L_1}{L_2}$$

取两个测量方向上测得误差中的较大值作为该零件的垂直度误差。

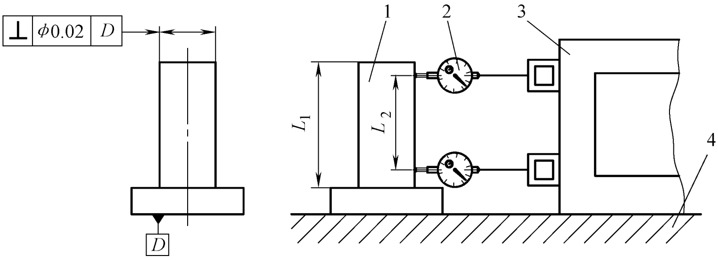


图 1-111　阶台轴外圆相对端面垂直度误差的检测

1—被测件　2—指示表　3—方箱　4—平板

8. 同轴度误差的检测

（1）有顶尖孔基准的阶台轴同轴度误差的检测（图 1-112）

1）检验量、器具：平板、顶尖架、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：将被测零件安置在两顶尖之间，把两指示表分别在铅垂轴截面调零。

① 在轴向测量，取指示表在垂直基准轴线的正截面上测得各对应点的读数差值 $|M_a-M_b|$ 作为在该截面上的同轴度误差。

② 转动被测零件，按上述方法测量若干个截面，取各截面测得的读数差中的最大值（绝对值）作为该零件的同轴度误差。

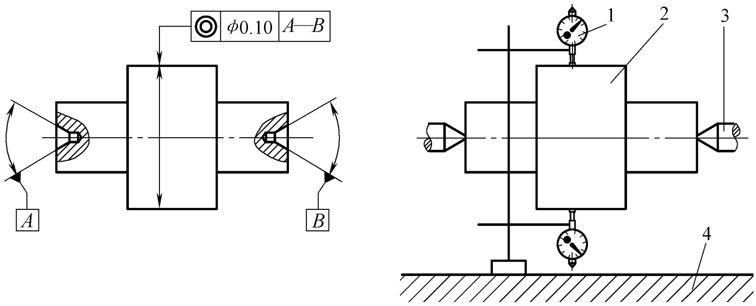


图 1-112　有顶尖孔基准的阶台轴同轴度误差的检测

1—指示表　2—被测零件　3—顶尖架　4—平板

（2）无顶尖孔的阶台轴同轴度误差的检测（图 1-113）

1）检验量、器具：平板、V 形架、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：将被测零件基准面一端放在 V 形架上，然后使指示表与被测表面接触，被测零件在 V 形架上转动一周，则指示表的变动量即为该零件的同轴度误差。

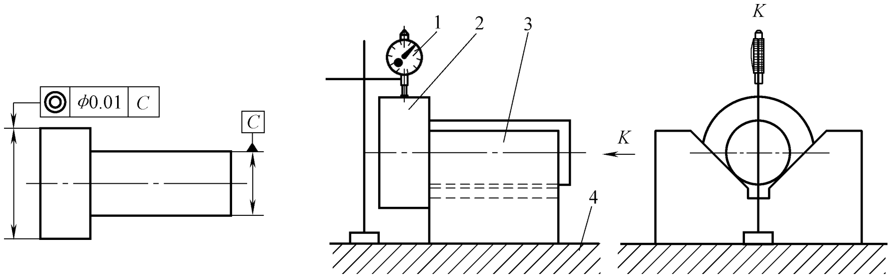


图 1-113　无顶尖孔的阶台轴同轴度误差的检测

1—指示表　2—被测零件　3—V 形架　4—平板

（3）套外圆相对内孔同轴度误差的检测（图 1-114）

1）检验量、器具：顶尖架、心轴、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：将标准心轴插入被测零件孔内，并装在两顶尖之间。

使指示表与被测表面接触，转动被测零件，指示表的变动量即为该零件的同轴度误差。

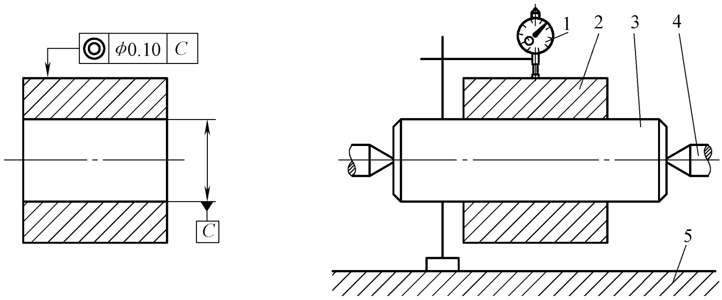


图 1-114　套外圆相对内孔同轴度误差的检测

1—指示表　2—被测零件　3—心轴　4—顶尖架　5—平板

9. 对称度误差的检测

（1）凹形槽相对外廓对称度误差的检测（图 1-115）

1）检验量、器具：带杠杆百分表的测量架、平板。

2）装夹和操作方法：将被测零件放置在平板上，用杠杆百分表测凹形槽第一面相对外廓（基准 *A*）的读数，调零，翻边测第二面，最大读数差的绝对值即为被测零件的对称度误差。

此测量方法未考虑基准 *A* 的形状误差。

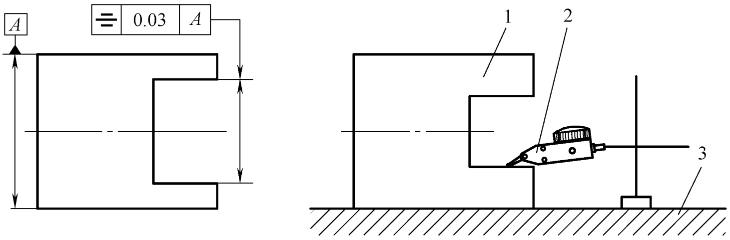


图 1-115 凹形槽相对外廓对称度误差的检测

1—被测零件 2—指示表 3—平板

（2）轴上键槽相对轴外圆对称度误差的检测（图 1-116）

1）检验量、器具：平板、V 形架、定位块、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：基准轴线由 V 形架模拟，被测中心平面由定位块模拟，分两步测量：

① 截面测量。调整被测零件使定位块沿径向与平板平行，测量定位块至平板的距离，再将被测零件翻转 180°后重复上述测量，得到该截面上下两对应点的读数差 a，则该截面的对称度误差为：

$$f_{截}=\frac{ah}{d-h}$$

式中 d——轴的直径；

h——槽深。

② 长度方向测量。沿键槽长度方向测量，取长度方向两点的最大读数差作为长度方向的对称度误差：

$$f_{长}=a_{高}-a_{低}$$

取以上两个方向测得误差的最大值作为该零件的对称度误差。

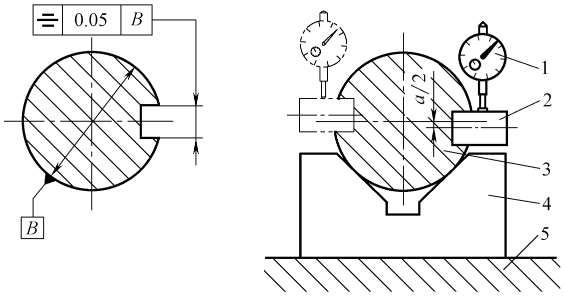


图 1-116 轴上键槽相对轴外圆对称度误差的检测

1—指示表 2—定位块 3—被测零件 4—V 形架 5—平板

10. 圆跳动误差的检测

（1）阶台轴圆跳动误差的检测（图 1-117）

1）检验量、器具和装夹：一对同轴顶尖、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：将被测零件安装在两顶尖之间。

① 在被测零件回转一周的过程中，指示表读数最大差值即为单个测量面上的径向圆跳动误差。

② 按上述方法测量若干个截面，取各截面上测得的跳动量中的最大值作为该零件的径向圆跳动误差。

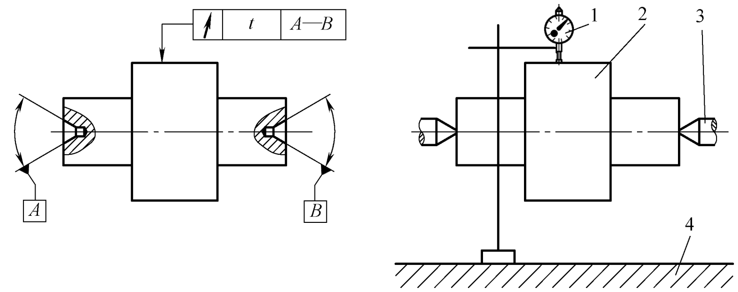


图 1-117　阶台轴圆跳动误差的检测

1—指示表　2—被测零件　3—顶尖架　4—平板

（2）套外圆相对内孔圆跳动误差的检测（图 1-118）

1）检验量、器具和装夹：一对同轴顶尖、导向可胀式心轴、带指示表的测量架。

2）装夹和操作方法：将被测零件固定在导向可胀式心轴上，同时安装在两顶尖之间。

① 在被测零件回转一周的过程中，指示表读数最大差值即为单个测量面上的径向圆跳动误差。

② 按上述方法，测量若干个截面，取各截面上测得的跳动量中的最大值作为该零件的径向圆跳动误差。

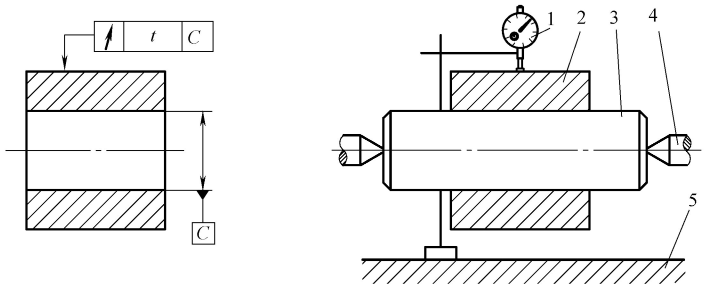
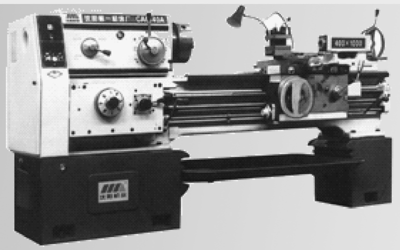


图 1-118　套外圆相对内孔圆跳动误差的检测

1—指示表　2—被测零件　3—心轴　4—顶尖架　5—平板



第 2 章

车工基本操作技能

2.1 车削轴类工件

常见轴类工件如图 2-1 所示。

在车床上加工轴类工件的外圆是车削工作中最具有代表性的基础性加工内容，也是机械制造业中加工外圆的主要方法。

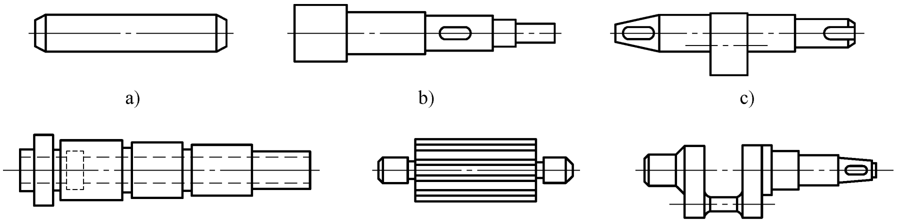


图 2-1 轴类工件

a）光轴 b）阶梯轴 c）偏心轴 d）空心轴 e）花键轴 f）曲轴

2.1.1 车削轴类工件常用顶尖的改进

使用两端顶的方法车削轴类工件时，使用的顶尖起着支承轴和定中心的作用。顶尖锥度和中心孔的内锥面都是 60°，两者为面接触。同时，根据使用需要和加工深化，顶尖也有着不同的形式。

1. 固定式顶尖和回转式顶尖

车削轴类工件常用的顶尖是固定式顶尖和回转式顶尖。

（1）固定式顶尖 固定式顶尖定心性强，在与中心孔配合时接触精度高，因此多用于加工精度要求较高的轴类工件和精车。但由于顶尖与中心孔贴合摩擦时会产生大量的热，很容易造成顶尖尖端的磨损或烧坏。为了克服这种不足，又常采用在顶尖处镶焊硬质合金的方法，如图 2-2 所示。

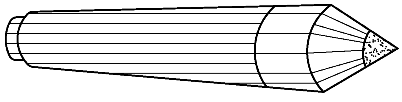
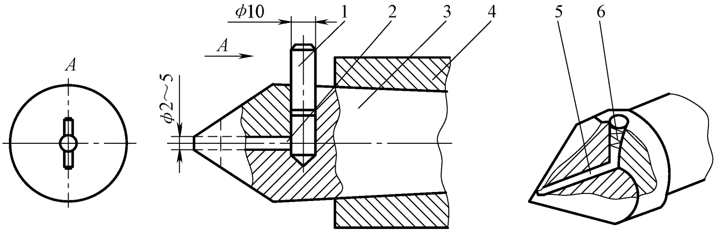


图 2-2 硬质合金固定顶尖

减小顶尖与轴类工件中心孔之间摩擦的另一个方法是经常加油润滑，如图 2-3 所示。



a)　　b)

图 2-3　固定顶尖头部钻出油孔

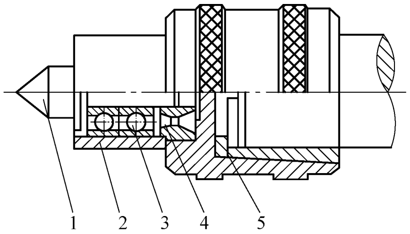
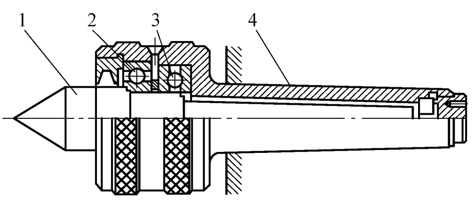
a）下压圆柱销迫使润滑脂流出　b）调整螺塞迫使润滑脂流出

1—圆柱销　2—存油腔　3—顶尖　4—尾座套　5—细孔　6—螺塞

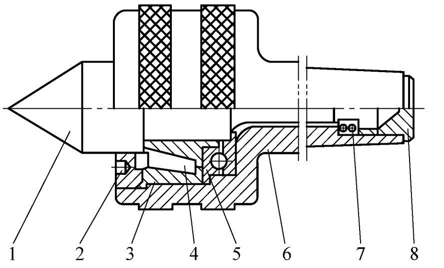
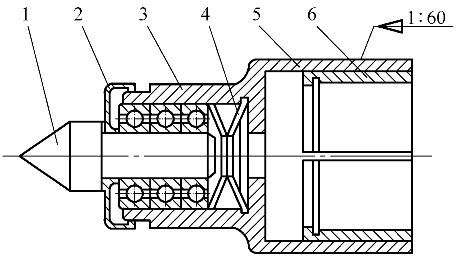
在顶尖头部钻出一个 ϕ2~5mm 的小孔，再在小孔的垂直方向钻出一个 ϕ10mm 的圆孔，在垂直孔内注入润滑脂（凡士林），润滑脂上方有个 ϕ10mm 圆柱（图 2-3a），下压圆柱销可迫使润滑脂热化后流入小孔内，或在润滑脂上方装上螺塞（图 2-3b），向下调整螺塞，使润滑脂下流，从而对顶尖进行润滑。

（2）回转式顶尖　回转式顶尖多在高速切削中的粗车和轴类工件精度要求不高的情况下使用。不同结构的回转顶尖见表 2-1。

表 2-1　不同结构的回转顶尖

形式	图　示	特　点	说　明
Ⅰ	 1—顶尖　2—顶尖体　3—滚动轴承　4—推力轴承　5—弹簧面	在车削中使用滚动轴承和推力轴承结构，可使顶尖随轴类工件一起转动，避免了顶尖和中心孔间的摩擦和磨损问题，因此能在很高的转速下进行车削	回转顶尖是在滚动摩擦条件下工作的，它在装配中存在着一定的累积误差，同时，经过一段时间的使用后，滚动轴承会逐渐磨损，而使顶尖的径向圆跳动误差加大，这对车削精度是不利的。所以，从定心精度、加工精度和切削稳定性方面来说，回转顶尖不如固定顶尖
Ⅱ	 1—顶尖　2—轴承　3—推力轴承　4—顶尖主体		

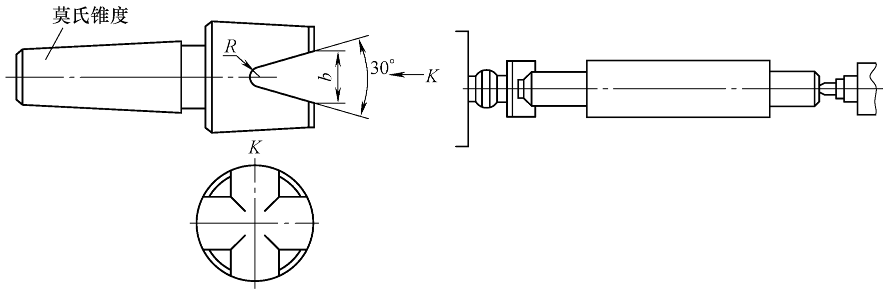
（续）

形式	图　　示	特　　点	说　　明
Ⅲ	 1—顶尖　2—调整螺母　3—推力轴承　4—套　5—轴承　6—顶尖体　7—轴承　8—盖	在车削中使用滚动轴承和推力轴承结构，可使顶尖随轴类工件一起转动，避免了顶尖和中心孔间的摩擦和磨损问题，因此能在很高的转速下进行车削	回转顶尖是在滚动摩擦条件下工作的，它在装配中存在着一定的累积误差，同时，经过一段时间的使用后，滚动轴承会逐渐磨损，而使顶尖的径向圆跳动误差加大，这对车削精度是不利的。所以，从定心精度、加工精度和切削稳定性方面来说，回转顶尖不如固定顶尖
Ⅳ	 1—顶尖　2—盖　3—滚动轴承　4—碟形弹簧　5—外壳　6—紧固套	在滚动轴承后面装有碟形弹簧，使得在主轴转速很高的情况下进行切削时，虽然产生热膨胀，但不会增加轴向力	

2. 顶尖结构形式的改变

（1）凹式反顶尖　凹式反顶尖如图 2-4a 所示，其内锥齿形是通过与顶尖轴线的垂直方向铣出两条交叉的凹槽而成的，顶尖经热处理后的硬度为 55～60HRC。热处理后先磨锥柄部分，然后装入对称胎模内，用成形砂轮磨出凹槽。反顶尖的四个齿尖应在同一内圆锥素线上，并与锥柄部分同心。

利用这种顶尖装夹轴件（图 2-46）比使用卡盘省力，因而能省去一些安装中的辅助时间，但它不适于在重力切削情况下使用。



a)　　　　b)

图 2-4　凹式反顶尖装夹轴件

a）凹式反顶尖　b）装夹轴件

（2）可调式凹式反顶尖　如图 2-5 所示，在主体的大端开有三个等分槽，槽内装有齿爪并用螺钉紧固。使用时将反顶尖安装在自定心卡盘内，利用凹槽中的齿爪支承轴类工件。反顶尖在使用中因支承不当或齿爪损坏时，可松开螺钉，将齿爪转动一个角度，即可继续使用。

若将该顶尖安装在尾座上作为后顶尖，配合回转顶尖使用，可夹持无中心孔轴类工件。

（3）弹性活动顶尖　如图 2-6 所示，它在顶持轴类工件时由推力轴承 8、压缩弹簧 10 获得所需的弹顶力。推力轴承 8 的外圈与防松螺母 9 之间有 0.2mm 的间隙，从而避免顶尖在转动时发生摩擦。

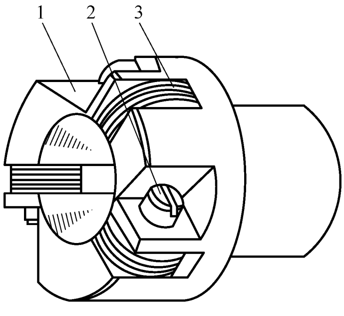


图 2-5　可调式凹式反顶尖

1—主体　2—螺钉　3—齿爪

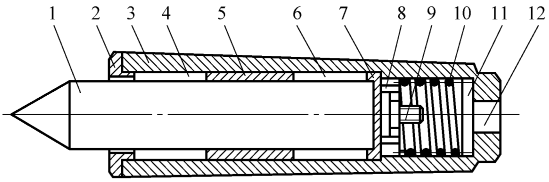


图 2-6　弹性活动顶尖

1—顶尖　2—压盖　3—锥柄体　4、6—滚针轴承　5、7—隔圈　8—推力轴承　9—防松螺母　10—压缩弹簧　11—垫圈　12—调节螺钉

弹性活动顶尖能自动调节工件加工时的顶紧力，克服工件变形因素的影响。双排精密滚针轴承提高了承载的稳定性，从而提高了使用寿命。使用该顶尖不仅可以得到优于使用回转式顶尖时的加工精度，同时，与固定顶尖相比，又可提高主轴转速。

（4）端面拨动顶尖　端面拨动顶尖如图 2-7 所示。使用时将其直接安装在车床主轴上，如图 2-8 所示。它利用尾座上施加的轴向力通过尖刃销扎入轴类工件端面，从而带动轴类工件与主轴同步旋转。采用该装置可在一次装夹下加工轴类工件外圆全部尺寸，不留夹头（利用该顶尖装夹轴类工件进行车削也称为无料头工艺）。这样既可代替卡盘卡爪夹紧工件，又克服了卡盘夹紧工件需要调头车削的弱点，保证了工件的加工精度，提高了生产率。

该夹具依靠六个尖刃销传递主轴动力，且能够自动定心。如图 2-7 所示，当锁紧螺母 3 旋紧时，带有锥面的夹具体 4 就固定于主轴 7 上。顶尖 13 在弹簧 10 的作用下，使工件自动定心。夹具体 4 的端面装有六个尖刃销 1，由于垫圈 5 的作用，当尾座顶尖顶紧工件时，尖刃销 1 的齿刃能同时嵌入工件端面内，带动工件一起旋转。用螺塞 12 通过弹簧 10 来调整顶尖力的大小。定位片 2 固定六个尖刃销的相对位置，保持齿刃呈放射状，如图 2-9 所示。

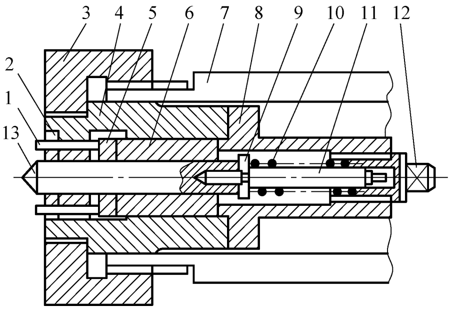


图 2-7　端面拨动顶尖（一）

1—尖刃销　2—定位片　3—锁紧螺母　4—夹具体
5—垫圈　6—导向套　7—主轴　8—夹具体座　9—垫片
10—弹簧　11—连接杆　12—螺塞　13—顶尖

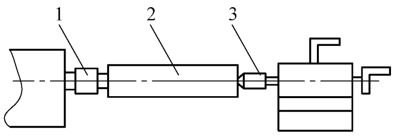


图 2-8　利用端面拨动顶尖装夹轴件

1—端面拨动顶尖　2—工件　3—尾座顶尖

使用该夹具装夹轴类工件，依靠后座顶尖压力使尖刃销的齿刃嵌入轴类工件端面，当进行强力切削时，可对轴端被六个尖刃销压出的放射状压痕进行錾刻，以加深压痕。六个尖刃销需具有一定的硬度，并应经常进行研磨，以保持锋利。这种装夹方法一般在轴类工件长径比 $l/D<10$ 的情况下使用。

图 2-10 所示是装夹较小轴类工件时使用的端面拨动顶尖。使用时，将其安装在车床主轴孔内，轴件 1 用尾座顶尖顶紧在定位垫 3 上，顶尖 5 在弹簧 7 的作用下使工件轴向定位，这时，尖爪 4 的四个尖爪顶压在轴件的端面处，即可进行加工。

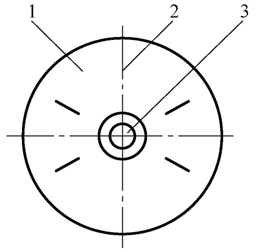


图 2-9　齿刃呈放射状

1—轴端　2—放射状压痕
3—中心孔

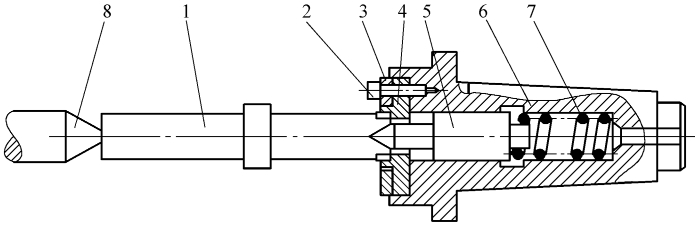


图 2-10　端面拨动顶尖（二）

1—轴件　2—螺栓　3—定位垫　4—尖爪　5—顶尖
6—心轴体　7—弹簧　8—尾座顶尖

3. 顶尖的修磨

顶尖经过长期使用，由于摩擦和磨损而出现定位不准或失去精度后，一般应在外圆磨床或万能外圆磨床上进行修磨。修磨前，应确认其各部分装配充分到位。还可采用下面介绍的方法进行修磨。

图 2-11 所示为修磨顶尖的工具，它的左端带有 60°不完整的中心孔，中心孔的大小根据被修磨顶尖的尺寸大小进行确定。修磨时，将工具插入尾座锥孔内，被修磨的顶尖装夹在主轴顶尖之间（图 2-12），使砂轮转动 60°，并将砂轮伸进工具的

直角缺口内，即可进行修磨。

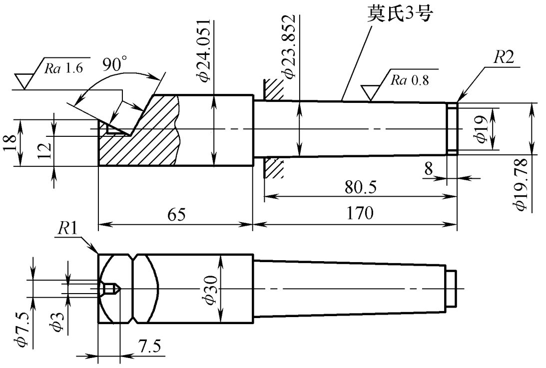


图 2-11　修磨顶尖工具

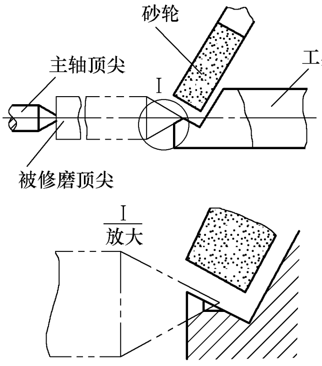


图 2-12　修磨顶尖的方法

2.1.2　中心孔的钻削、研磨和修复

以中心孔作为定位基准，能保证轴类工件的加工质量，并且中心孔可反复使用。特别是对于精度要求较高的轴类工件，如果忽视了中心孔质量，就会直接影响车削精度，甚至造成废品。

1. 轴端中心孔加工方法

加工轴端中心孔使用的中心钻如图 2-13 所示，加工中心孔的一般方法如图 2-14 所示，此外还有不停机法或利用专用装置等方法。

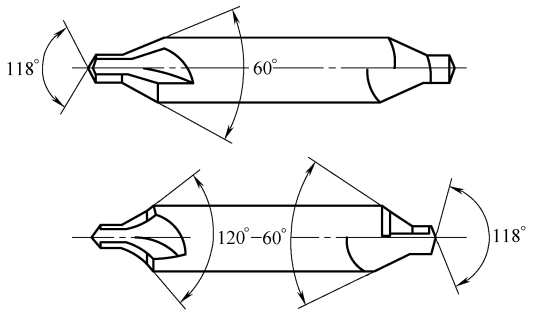
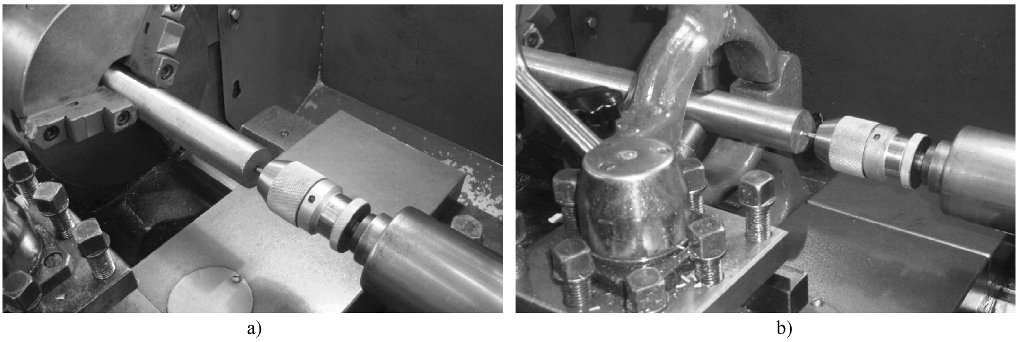


图 2-13　中心钻

（1）车床不停机加工中心孔　这种方法适于批量加工中使用，在钻中心孔的过程中，可实现不停机操作，从而节省了辅助时间，提高了效率。



a)　　b)

图 2-14　轴端加工中心孔的一般方法

a）加工短轴中心孔　b）加工长轴中心孔

如图 2-15 所示，将锥度为 4°的锥度套夹紧在自定心卡盘内，刀架上安装一块带有圆弧槽的木块。钻中心孔时，将轴的左端塞进 4°的锥度套内，右端放在木块上面的圆弧处，摇动尾座手轮进给。这种钻中心孔的方法适用于较小尺寸的轴类工件。在刀架上装夹木块时，应注意掌握其高度，当轴类工件放到木块的圆弧槽上后，应使其轴线与主轴轴线、尾座中心线基本一致。

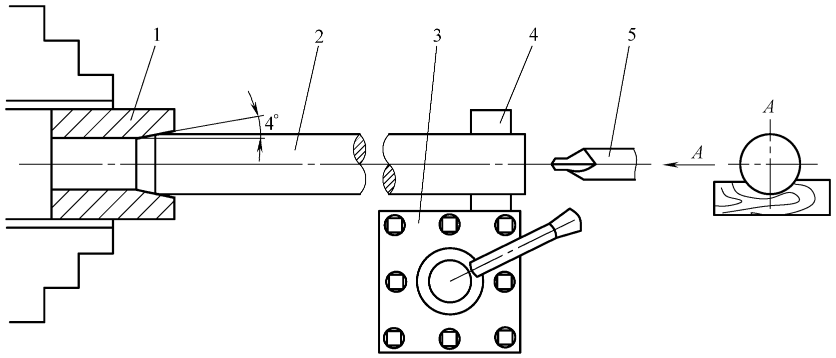


图 2-15　轴端加工中心孔

1—锥度套　2—轴　3—刀架　4—木块　5—中心钻

如图 2-16 所示，利用专用夹具不停机加工直径为 ϕ20mm、长径比 $l/D=5$ 的轴类工件的中心孔。将中心钻夹紧在自定心卡盘内，并套入内套筒 8 的孔中，支杆 9 紧固在车床刀架上，并使内套筒的中心与自定心卡盘的中心同心。操作时，将工件放入内套筒 8 右端的锥孔里。转动安装在车床尾座上的内顶尖 7 将轴件向前推动，弹簧受压而使内套筒 8 向后滑移，即可钻出中心孔。螺钉 4 的作用是防止内套筒 8 转动和弹出体外，并能控制轴件中心孔的深浅。将尾座上的内顶尖退回，轴件即可卸下。

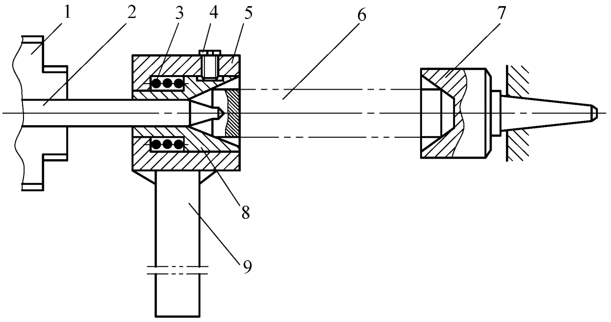


图 2-16　利用专用工具钻中心孔（一）

1—自定心卡盘　2—复合中心钻　3—弹簧　4—螺钉

5—外套筒　6—工件　7—内顶尖　8—内套筒　9—支杆

制作该工具时，注意内套筒 8 与外套筒 5 的配合不宜太松，两者间隙以不超过 0.03mm 为宜。

技能大师经验谈：

大批量车削轴类工件时，还可使用图 2-17 所示的工具和方法将中心孔加工出来。操作时，将锥柄心轴 14 插进车床尾座内，带内锥面的固定顶尖 1 夹紧在自定心卡盘内。当尾座套筒向前移动时，带内锥面的回转顶尖 4 推向工件 2。随着主轴的转动，轴件位置自动找正，将轴件支持好，尾座套筒继续进给，钻出轴端中心孔。

当轴类工件直径较小、长度不超过 300mm 时，使用这种工具和方法可以实现不停机连续加工；若工件长、质量大，每加工好一个中心孔，则需停机后装卸工件。

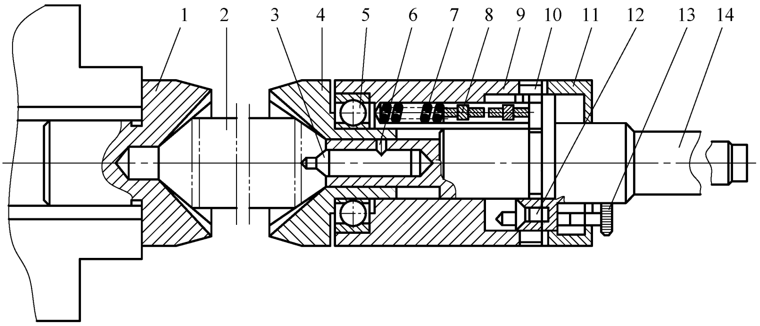


图 2-17　利用专用工具钻中心孔（二）

1—固定顶尖　2—工件　3—中心钻　4—回转顶尖　5—滚动轴承　6—螺钉　7—压力弹簧　8—导柱　9—顶尖体　10—压圈　11—后盖　12—沉头螺钉　13—螺钉　14—锥柄心轴

（2）尾座附加装置加工中心孔　这种方法适于批量钻大型长轴类工件以及弯曲或断面呈椭圆、方形轴类工件的中心孔时使用。由于这类轴件的外圆往往不圆整和不规则，所以利用普通方法在车床上钻中心孔比较困难。图 2-18 中，在车床尾座 8 的前端装上中心孔钻具，装在尾座轴上的 0.25kW 电动机 6 带动带轮 4 旋转，从而经锥轴 5 和滚动轴承 7 使中心钻转动进行加工。钻削时，利用尾座的手轮手动控制中心钻的轴向进给。

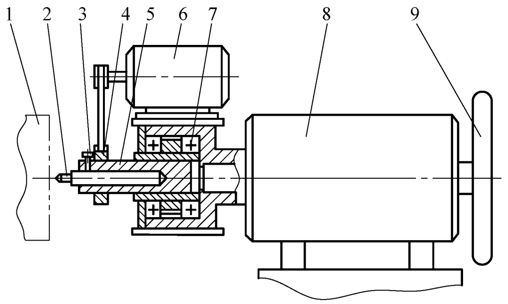


图 2-18　尾座附加装置钻中心孔（一）

1—轴件　2—中心钻　3—螺钉　4—带轮　5—锥轴　6—电动机　7—滚动轴承　8—尾座　9—手轮

钻中心孔时，把已划好线的大型长轴吊起，并将其一端插入车床主轴的自定心卡盘内，另一端放在经找正而固定在床身导轨的中心架上托住，这样，在轴件不转动的情况下将中心孔钻出来。

技能大师经验谈：

图 2-19 所示是利用同一原理加工中心孔时，在尾座处附加的另一种结构。微电动机通过螺栓固定在锥柄上，紧固套固定在微电动机轴上，通过螺钉将中心钻紧固好。钻中心孔时，整个工具与尾座套筒内锥孔配合，轴类工件装夹在车床主轴的卡盘内。接通电源，微电动机轴带动中心钻旋转，通过尾座套筒的轴向前进，在轴件不旋转的情况下将中心孔钻出。

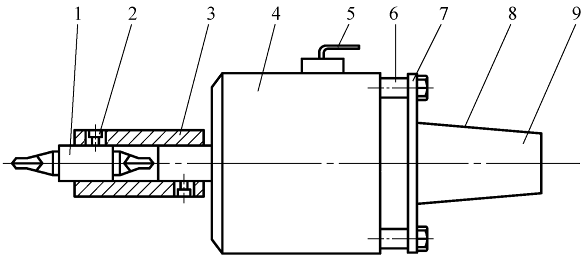


图 2-19　尾座附加装置钻中心孔（二）

1—中心钻　2—锁定螺钉　3—紧固套　4—CD-6 电动机

5—220V 或 380V 电源　6—螺栓　7—连接板　8—莫氏锥度　9—锥柄

（3）专用装置加工中心孔　加工中心孔的专用装置如图 2-20 所示。弯板 3 的上部固定有自定心卡盘 10，小电动机固定在旧台钻上，V 形槽托架 9 装在小车 6 上部，用以托起不同直径的轴类工件。转动螺母 7，V 形槽托架 9 可升至不同的高度，小车 6 可在底座上纵向移动到所需要的位置。自定心卡盘 10 不担负承载作用，只起夹固轴件的作用。钻中心孔时，一方面钻夹头和中心钻转动，另一方面，扳动旧台钻，使中心钻在卡盘孔内做轴向往复移动。

另外，加工特大型轴类工件上的中心孔时，还可采用划线的方法，先在轴端划出中心孔的位置，然后用手电钻或在钻床上将中心孔加工出来。

2. 轴端中心孔的修复和研磨

中心孔是轴类工件加工中的重要工艺基准，利用它进行定位时，顶尖与中心孔不仅接触，而且存在相对的转动。因此，中心孔的几何形状将直接影响工件的形状精度和位置精度。

轴类工件粗加工过程中，由于车削用量大、加工余量不均匀以及摩擦发热等因素的影响，造成中心孔不同程度的损坏，特别是轴件经过热处理淬火后发生变形的中心孔，在精加工之前更需要进行修复和研磨。

（1）中心孔的修复　可采用以下两种方法：

1）修复短轴中心孔。如图 2-21 所示，将硬质合金顶尖安装在钻床主轴上，轴

件夹紧在钻床工作台上的自定心卡盘内，根据轴类工件中心孔处的硬度适当选择钻床的转速，手动加压进行挤压。所使用的硬质合金顶尖可采用图 2-22 所示的多棱形，即把磨好的 60°硬质合金顶尖，再修磨出 3~5 齿（最好磨成不等分齿距）成多棱形，其 f 值取 0.25~0.55mm，表面粗糙度 Ra 值为 0.8μm。

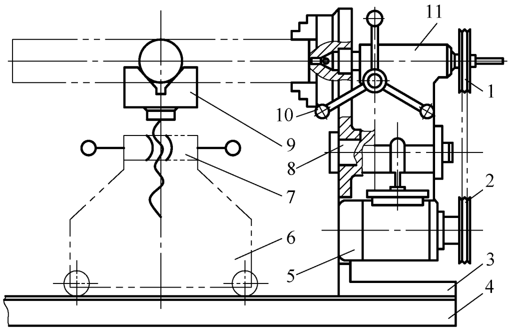


图 2-20　专用装置加工中心孔

1、2—带轮　3—弯板　4—底座　5—电动机　6—小车　7—螺母　8—横轴　9—V 形槽托架　10—自定心卡盘　11—小台钻

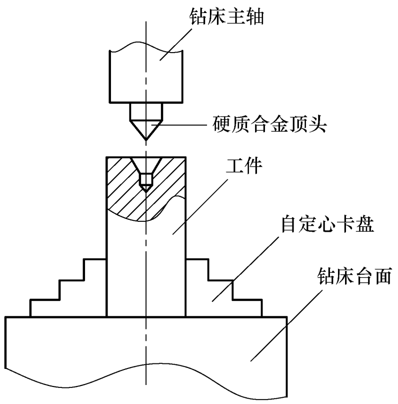


图 2-21　修复短轴中心孔

采用这种方法修复未经淬火轴类工件的中心孔时，可将中心钻装夹在钻床主轴上进行。

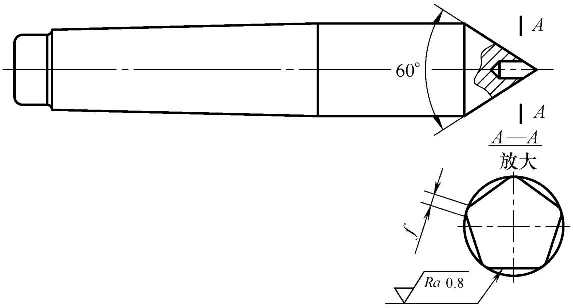


图 2-22　修复中心孔用的合金顶尖

2）修复长轴中心孔。修复长轴上的中心孔时，可采用图 2-23 所示的方法。带短轴的万向联轴器夹紧在车床自定心卡盘中，在万向联轴器的右端再装上一个较小的小自定心卡盘，轴件安装在较小的自定心卡盘内，并用两个中心架将轴件架起来，中心钻装在插进尾座的钻夹头上。当车床的自定心卡盘旋转时，通过万向联轴器和较小的自定心卡盘带动中心架上的轴件转动，这时，推进中心钻向前移动，将中心孔修复好。

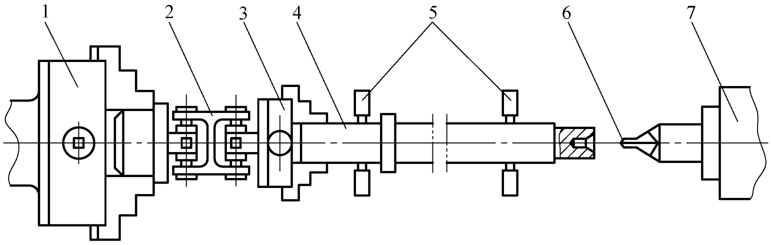


图 2-23　修复长轴中心孔

1—卡盘　2—万向联轴器　3—自定心卡盘　4—工件　5—中心架　6—中心钻　7—尾座

（2）中心孔的研磨　对于精密轴类工件，必须要有高精度和低表面粗糙度值的中心孔，所以，在精加工前，还必须对修复好的中心孔进行仔细研磨。

研磨中心孔的方法很多，可以在车床或钻床以及专门研磨中心孔的设备上进行，下面介绍几种车床上的研磨方法。

1）在车床上用铸铁棒研磨。在车床自定心卡盘上夹持一根铸铁棒，它的端部车成 60°锥度，作为研磨顶尖，并用它和尾座顶尖一起顶住轴件（图 2-24），不要安装拨盘和夹头。在研磨顶尖上放上金刚砂研磨剂。研磨时，车床主轴转速可在 200～300r/min，用手把握工件，轻微转动，研完一头，再调头研另一头。

开始研磨时，可以用 F100 金刚砂用煤油调和后进行粗研，在将近研好时，再换用 20W 或 14W 的氧化铬研磨剂进行精研。

2）用硬质合金顶尖挤研。将硬质合金顶尖镶焊在顶尖体上，如图 2-25 所示，然后磨成 60°锥度（有的硬质合金出厂时已制成 60°锥度），作为研磨顶尖装在车床主轴锥孔内。尾座用固定顶尖或硬质合金顶尖，将轴件顶住，不使用拨盘和夹头，用手把持轴件，开车后，另一只手一松一紧地把握尾座后面的手轮。车床主轴转速为 300r/min 左右，只需要 5～10s 挤研就可以完成。操作中先粗挤研，然后在中心孔内加上凡士林再轻挤，可以得到良好效果。

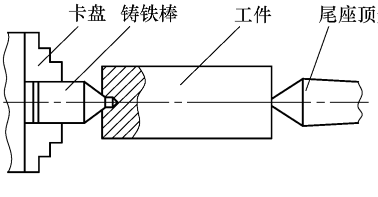


图 2-24　用铸铁棒研磨中心孔

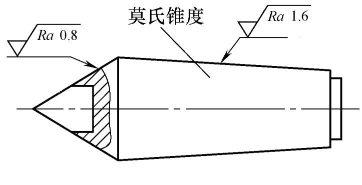


图 2-25　研磨中心孔用的合金顶尖

用这种方法研磨中心孔的优点是挤研时间短，加工出的表面粗糙度值小。但中心孔的圆柱孔直径 d 在 5mm 以上时不宜采用这种方法。因中心孔面积过大，容易产生高温，反而会挤坏中心孔，并造成中心孔硬度降低。中心孔直径 d 在 10mm 以上时，可用自定心卡盘夹住工件，将硬质合金顶尖装在尾座孔内，并用它来挤研。

装夹工件时卡爪要尽量少卡一些，因为卡的部分长了，会引起轴件头部不与尾座顶尖同轴，造成中心孔顶尖发生歪扭。

3）用氧化铝（刚玉类）砂轮顶尖研磨。将废旧的氧化铝砂轮做成砂轮棒，在顶尖的头部钻孔，把砂轮棒放入孔内，用硫黄熔焊在孔内，并把顶尖夹在车床自定心卡盘上，或者直接将砂轮棒夹持在自定心卡盘上，然后在刀架上装上打砂轮刀（金刚石笔）或一般硬质合金刀片，将砂轮棒车成60°锥度。研磨时，工件的装夹和车床转速与前面图2-24中所介绍的铸铁顶尖研磨方法相同，用手扶住工件，一松一紧地转动尾座手轮进行研磨。砂轮顶尖可用煤油或全损耗系统用油作为润滑油。

用这种方法研磨中心孔速度较快，研磨的中心孔精度很高，它可以研磨较大和较小的中心孔。但在研磨小中心孔时，砂轮棒的尖部容易磨损。当砂轮棒的尖部磨损时，可用打砂轮刀随时进行修整。

为了保证研磨中心孔的质量，无论采用上述哪种方法，都必须注意找正车床主轴中心线与尾座顶尖的同轴度。

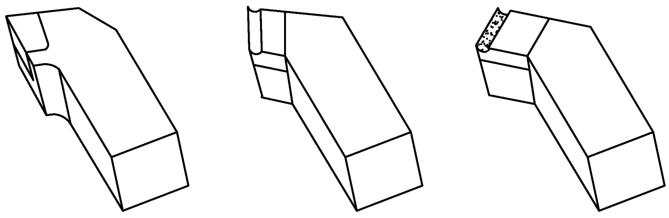
中心孔研磨好后，应在孔内抹上凡士林，并在轴端粘贴纸片封好，以保护中心孔。

2.1.3 外圆车刀的结构及其改进

1. 粗车外圆使用的车刀

粗车外圆时，要从毛坯上切除大部分多余的金属材料，多采用大进给量和大的背吃刀量进行切削，但由于轴件外圆表面往往不平整，甚至有时是断续切削，因此，在保证所使用的车刀足够锋利的同时，还要求它具有高的强度和耐冲击性，并且刀尖不易磨损和损坏，以及利于断屑和排屑等。

粗加工外圆时使用的车刀形式很多，其中有主偏角为90°、75°和45°的外圆车刀等，如图2-26所示。



a)　　b)　　c)

图2-26　粗加工外圆车刀

a）90°外圆车刀　b）75°外圆车刀　c）45°外圆车刀

（1）90°外圆车刀　它是工厂惯用的一种车刀，可用来车外圆和台阶，使刀架转过一定角度或斜装后又可以车端面和倒角等，使用起来很方便。并且，由于车削外圆时的主偏角 κ_r 大（κ_r 最大为90°），所以减小了切削力，有利于减小切削中产

生的振动。但是，90°外圆车刀和其他角度的外圆车刀相比较，在副偏角 κ_r' 相同时，90°外圆车刀的刀尖角 ε_r 较小（图 2-27），这就削弱了刀尖强度。另外，由于 90°外圆车刀散热面积小，不利于刀尖处的散热，会缩短车刀的寿命，并且限制了切削速度的提高，影响了车削效率。

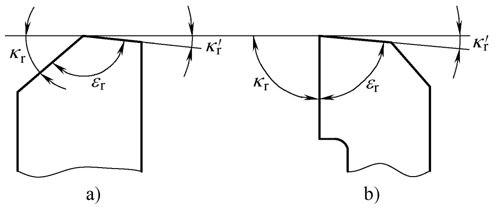


图 2-27　相同副偏角情况下的刀尖角比较
a）一般外圆车刀的刀尖角　b）90°外圆车刀的刀尖角

从另一个方面来看，90°外圆车刀和一般外圆车刀在副偏角 κ_r' 和进给量 f 相同的情况下，由于 90°外圆车刀的刀尖角小，而使切削刀纹较明显，不利于车削表面的光洁。

综合 90°外圆车刀的优点和不足，在进行单件和少数量粗车时，由于被加工工件的加工要求多变，应采用适应性强的 90°外圆车刀；为防止切削振动和工件变形，对于刚性差的工件，宜采用 90°车刀；台阶多的工件，宜使用 90°外圆车刀；90°可转位外圆车刀均有预制好的正前角，可以保证主切削刃和副切削刃的同时切削，因而无论车外圆还是车端面，都可广泛使用。

车削表面粗糙度要求较低的工件和车削高强度、高硬度材料时，不应选用 90°外圆车刀，而应根据实际加工需要，具体对待。

90°外圆车刀的几何形状和尺寸如图 2-28 所示。该车刀刀片的材料为 YT15，适合在 CA6140 型等车床上使用。采用的切削速度 $v_c = 180 \sim 250\text{m/min}$，背吃刀量 $a_p = 3 \sim 6\text{mm}$，进给量 $f = 0.3 \sim 0.6\text{mm/r}$，适于车削碳素钢时使用，可不用切削液。

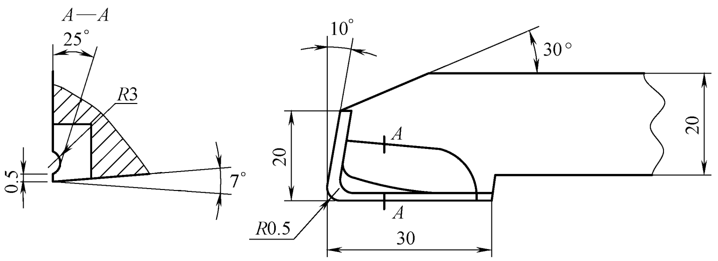


图 2-28　90°外圆车刀

（2）75°强力车刀　该车刀的几何形状和尺寸如图 2-29 所示。YT5 硬质合金刀片立焊在刀杆的刀槽内。刀杆材料为 45 钢，热处理硬度为 40~45HRC。采用 75°主偏角对减小车削中的切削分力是有利的。采用-10°刃倾角可提高刀具的抗冲击性能，切削刃上磨有-5°×0.7mm 的负倒棱，可加强切削刃强度，最适于粗加工和重切削中使用。

车削用量选择如下：切削速度 $v_c=80\sim120$m/min，背吃刀量 $a_p\approx20$mm，进给量 $f=0.8\sim2$mm/r（进给量 $f>0.5$mm/r 时有利于断屑）。在刀架上安装时，刀尖略高于轴线 0.5mm。

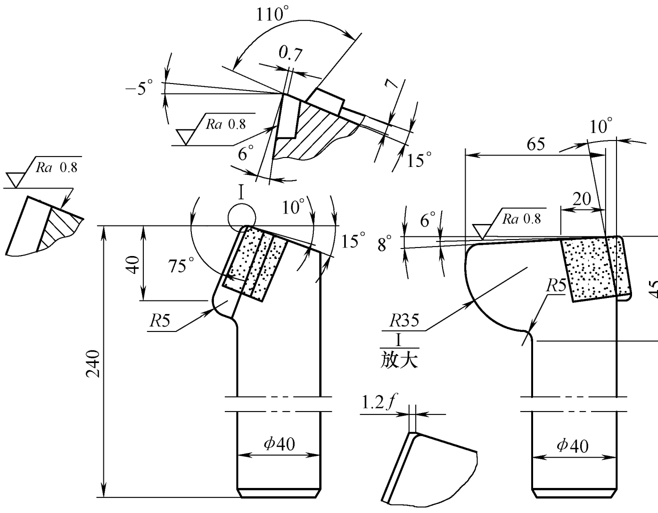


图 2-29　75°强力车刀

图 2-30 所示是又一结构的 75°外圆车刀，该车刀前角 $\gamma_o=20°$，后角 $\alpha_o=8°$，倒棱为−5°，倒棱宽度为 $0.5f$，刃倾角 $\lambda_s=-3°$。由于前角较大，因而切削力较小；前刀面上磨有断屑台，断屑情况好；主偏角较大，径向力小，因此振动小。该车刀可在中型车床上进行强力车削，适于加工直径在 50mm 以上的碳素钢工件。车削用量选择如下：切削速度 $v_c=150\sim180$m/min，进给量 $f=0.8\sim1.2$mm/r，背吃刀量 $a_p=8\sim12$mm。

（3）大前角车刀　该车刀的几何形状和尺寸如图 2-31 所示，适合在中型车床上使用。刀片材料为 YT5。车削用量可采用：主轴转速 $n=190\sim200$r/min，背吃刀量 $a_p=4\sim7$mm，进给量 $f=0.6$mm/r。

该车刀具有大前角和负前角倒棱，因此适合在切削用量较大的粗加工中使用。

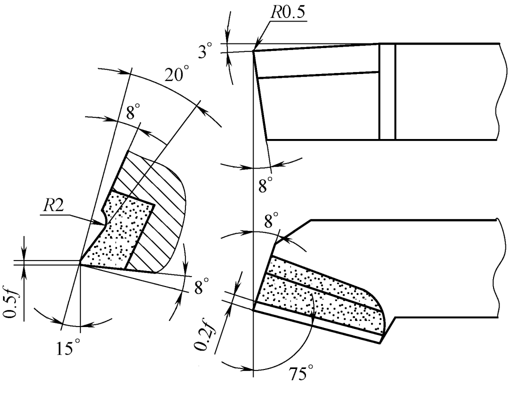


图 2-30　75°外圆车刀

图 2-32 所示为大前角切削铸铁车刀。这种车刀刃倾角 $\lambda_s=0$，主偏

角 $\kappa_r = 45°$，前角 $\gamma_o = 15° \sim 18°$。前角增大，可减小前刀面上的切削压力，使切削顺利。

该车刀在中型车床上加工较大直径的强铸铁工件的外圆时，主轴转速 $n = 45 \sim 55\text{r/min}$，背吃刀量 $a_p = 8 \sim 12\text{mm}$，进给量 $f = 1.2 \sim 1.5\text{mm/r}$。在刀架上安装车刀时，刀尖要比工件中心高出 $D/100$（D 为工件直径）。

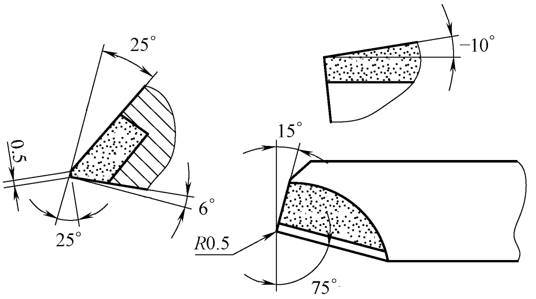


图 2-31　大前角车刀

2. 精车外圆使用的车刀

下面推荐几种精车外圆时使用的车刀，供选用。

（1）外圆精车刀　图 2-33 所示车刀适于精车钢件外圆时使用。它的主切削刃用作切削，副切削刃起修光、挤压作用，为了使切屑不碰在已加工轴件表面上，卷屑槽采用外斜式。刀片材料选用 YT30、YT15 和 YW1，并进行强化处理，这样有效地提高了刀具寿命。

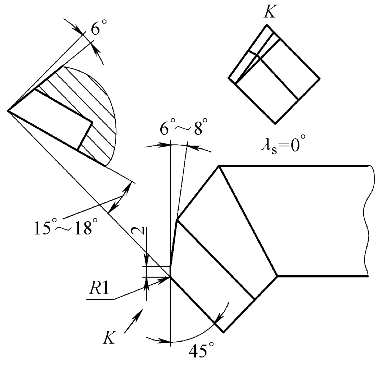


图 2-32　大前角切削铸铁车刀

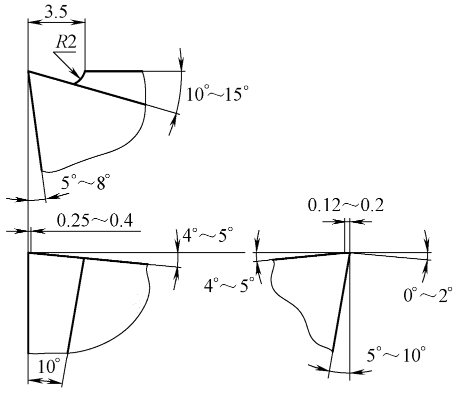


图 2-33　外圆精车刀

（2）可调节精车刀　如图 2-34 所示精车刀装有 80°刀尖角的六边形可转位硬质合金刀片，刀片刃口间钝角的顶点是工作刀尖，其前角 γ_o 和后角 α_o 能进行调节。车刀刀头 2 用螺栓 7 和螺母 8 装配在加工成弧形面的刀体 1 上。在车刀刀头上装有用销 4、楔 5 和螺钉 6 固定的硬质合金刀片 3。弧形面可使前角 γ_o 在 $-10° \sim 10°$ 范围内调节。

（3）宽刃精车刀　包括弹簧精车刀和鹅颈式精车刀。两种精车刀均用高速钢材料制成，加工中充分使用切削液。

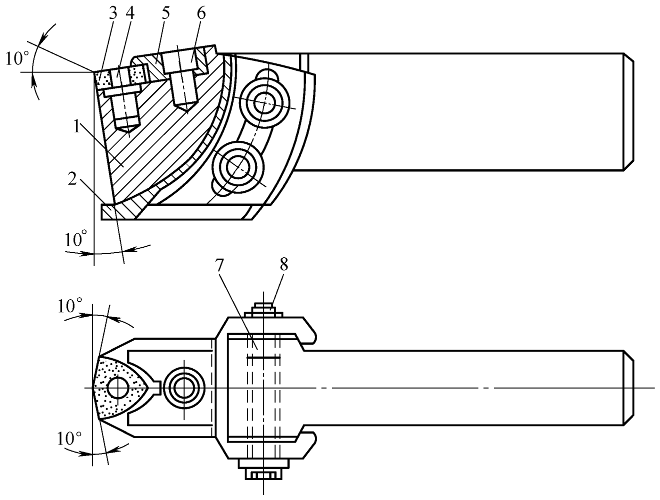


图 2-34　可调节精车刀

1—刀体　2—刀头　3—硬质合金刀片　4—销　5—楔

6—螺钉　7—螺栓　8—螺母

1）弹簧精车刀。如图 2-35 所示，这种精车刀的特点是：刀体成“Ω”形，具有一定的弹性，并可以消振；能减小切削阻力，有利于车削平稳；有较高的冲击韧度，可延长车刀使用寿命；前角为 23°，前刀面上开有 *R*6mm 断屑槽，使切屑沿槽自然地排出并折断。刀杆材料为 45 钢，刀尖刃部开刃后，要用细磨石和研磨膏研磨至表面粗糙度 *Ra* 值不高于 0.8μm；切削刃刃口修磨成圆角。

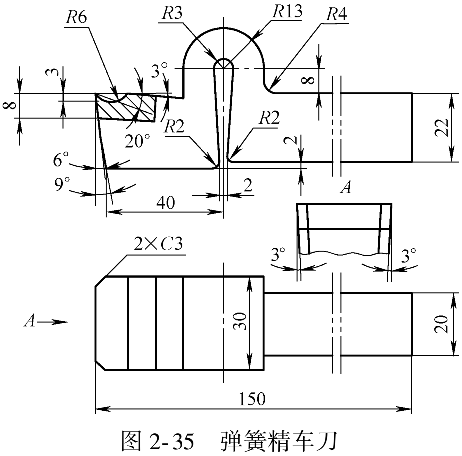


图 2-35　弹簧精车刀

安装该车刀时，切削刃必须与工件轴线平行，并稍低于工件轴线 0.1～0.15mm；安装工件时，应采用一夹一顶的方法，由于是用于精车，所以后顶尖使用固定式顶尖。使用该车刀在 CA6140 型卧式车床上进行半精车时，采用的背吃刀量 a_p=0.4～0.45mm，主轴转速 n=400～450r/min；精车时，背吃刀量 a_p=0.1～0.15mm，主轴转速 n=20～25r/min。

2）鹅颈式精车刀。该车刀如图 2-36 所示。刀体弹性好，切削时无振动，不扎刀，不崩刃。使用前，要用细磨石和研磨膏仔细地进行研磨，切削刃刃口修磨成圆角。在 CA6140 型卧式车床上精车优质碳素钢和 40Cr 合金钢一类工件时，切削速度 v_c=2～8m/min，背吃刀量 a_p=0.01～0.05mm，进给量 f=0.2～2mm/r。

安装该车刀时，切削刃与工件轴线需保持平行。

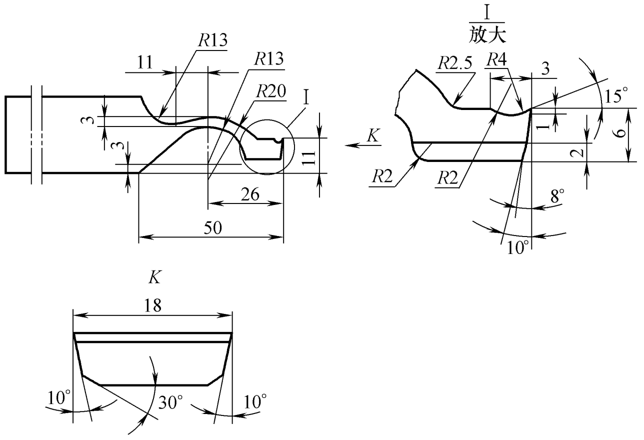


图 2-36　鹅颈式精车刀

2.1.4　车削中的断屑措施

车削塑性材料时，很容易形成条带状切屑，它连绵不断地缠绕在工件、车刀及刀架上，有时还会划伤已加工表面影响加工，甚至伤人，因此，车削中必须采取相应的断屑措施。

常用断屑方法有在刀头上磨断屑槽、焊断屑台和使用断屑板等方法。

1. 在刀头上磨断屑槽和改变车刀几何角度

在刀头上磨出断屑槽能够起到断屑作用，断屑槽的基本形状如图 2-37 所示。断屑槽的形状应在刀头主断面上观察，其槽宽 K、圆弧半径 R 以及槽楔角等，对断屑效果都有影响。

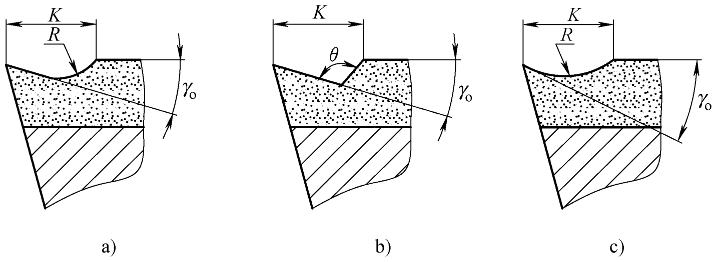


图 2-37　断屑槽基本形状

a）直线圆弧形　b）直线形　c）圆弧形

利用断屑槽断屑应与改变车刀几何角度结合起来。直线圆弧形断屑槽和直线形断屑槽适用于切削碳素钢、合金结构钢、工具钢等材料，一般取前角 $\gamma_o=5°\sim15°$，

当切削纯铜或不锈钢等高塑性的材料时，取前角 $\gamma_o=25°\sim30°$。当前角太大时，直线圆弧形及直线形断屑槽的切削刃强度就低，这时易崩刃，断屑槽太深，排屑不畅，此时应采用圆弧形断屑槽。

在背吃刀量和进给量已选定的情况下，增大主偏角会使切屑厚度增加，从而达到断屑目的。切削中，主偏角 $\kappa_r=75°\sim93°$时，断屑效果较好。减小前角，会使切屑变形加剧，切屑易折断。以上两种改变车刀几何角度的做法，往往是靠牺牲车刀最适宜的几何角度而达到断屑目的的。

最常见的方法还有在切削刃上磨出双重的刃倾角（图 2-38 中 $\lambda_o=6°\sim8°$和 $\lambda_o=8°$），使刀尖处的前角减小，增加刀尖强度，使切屑卷曲离开工件，用这种方法车削碳素钢工件时，切下的切屑是卷曲状，但使用图 2-38 所示车刀切削高强度、高韧性材料时就不容易断屑。

当车削强度高并具有硬皮的工件时，常选择负倒棱比较宽的车刀，如图 2-39 所示的 90°无槽断屑车刀。

确定断屑槽宽度 K（图 2-37）时，还应与进给量 f 和背吃刀量 a_p 结合起来考虑。一般来说，f 和 a_p 大，K 也应大。切削中碳钢时，可取 $K=10f$；切削合金钢工件时，可取 $K=7f$。通常情况下，直线圆弧形圆弧 $R=(0.3\sim0.7)K$，工件材料塑性大取上限，塑性小取下限。

当选用背吃刀量 $a_p>10$mm，进给量 $f=0.5\sim1.2$mm/r 的大车削用量切削碳素钢和合金结构钢时，切屑宽而厚，卷曲力大，若折断成“C”形屑则容易打坏切削刃和卷屑槽，而且碎屑会迸溅伤人。此时常将断屑槽的槽底圆弧加大，并磨得较浅，使切屑卷成发条状顶在工件加工表面上折断，推荐采用 $K=10f$，$R=(1.1\sim1.5)K$。

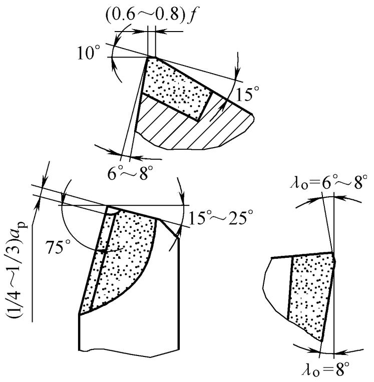


图 2-38　采用双重刃倾角断屑

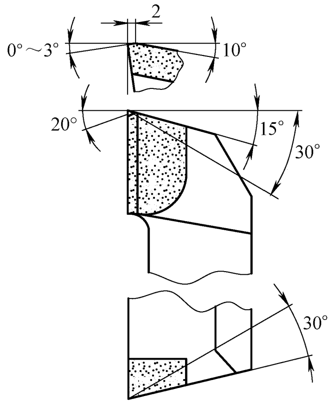


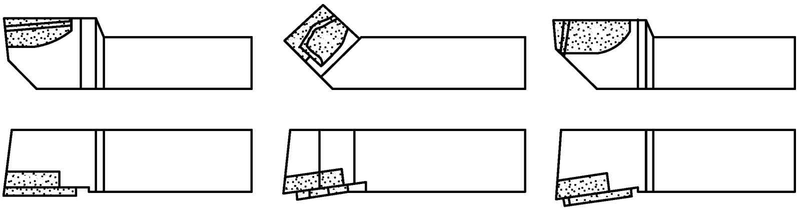
图 2-39　90°无槽断屑车刀

2. 在刀头上焊断屑台断屑

在刀头上焊断屑台的形式如图 2-40 所示。断屑台的高度 C 可取车刀杆高度的 1/5～1/3（车刀杆高度大时取小值）。这种断屑形式在一定范围的切削用量下，更

能发挥作用。图 2-41 所示为焊有断屑台的车刀，在切削速度 $v_c=70\sim180\text{m/min}$，背吃刀量 $a_p=2.5\sim6\text{mm}$，车削 40Cr 材料的工件时，取 $B_1=(1.5\sim2.0)f$（f 为进给量）、$C=(1/5\sim1/3)H$。

刀头上的断屑台还可采用粘结剂进行粘结。



a)　　　　b)　　　　c)

图 2-40　在刀头上焊断屑台车刀

a）90°外圆车刀　b）45°外圆车刀　c）端面车刀

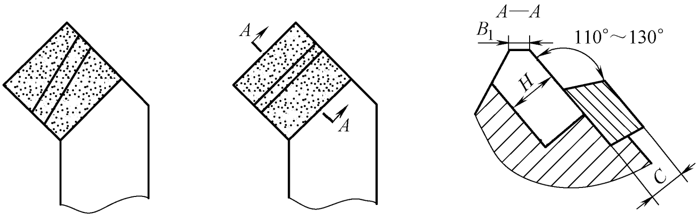


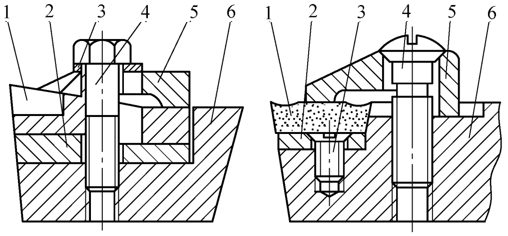
图 2-41　断屑台位置和尺寸

3. 使用断屑板断屑

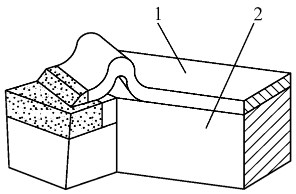
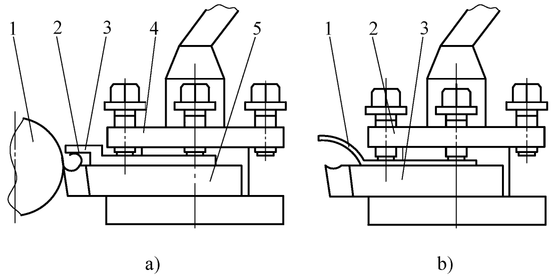
断屑板断屑有多种形式，常用断屑板举例见表 2-2。

利用断屑板断屑时，应注意断屑板要有一定的强度和刚性，以及断屑板尺寸和在车刀上的安装位置要适当，否则会给加工带来不便，甚至影响操作。

表 2-2　断屑板形式

断屑板形式	图　　示	说　　明
压板式断屑板	 a)　　b) a）形式Ⅰ　b）形式Ⅱ 1—刀片　2—垫片　3—垫圈　　1—刀片　2—垫片　3—螺钉 4—螺钉　5—断屑板　6—刀体　　4—压板螺钉　5—断屑板　6—刀体	使用螺钉和压板将硬质合金刀片固定在刀体上。刀片上的压板同时起着断屑板的作用。车削中，当切屑流出时，通过断屑板将切屑折断

（续）

断屑板形式	图　示	说　明
U 形断屑板	 1—U 形断屑板　2—45°弯头车刀	安装时，使用螺钉将 U 形断屑板和车刀紧固在刀架上
遮板式断屑板	 a）直板式　b）弯板式 1—工件　2—铁屑　3—断屑板　4—刀架　5—车刀　　1—断屑板　2—刀架　3—车刀	断屑板依车刀宽度尺寸而定，它与车刀一起固定到刀架上。在使用这种断屑板车削碳素钢工件时，可迫使切屑向下，避免其缠绕在刀架或工件上；车削铸铁或高速切削黄铜工件时，对碎小的切屑下落也能起到控制作用

4. 使用断屑器断屑

断屑器常在自动生产线或加工塑性强的材料时使用。图 2-42 所示为断屑器的一种形式，其断屑可靠。它由偏心轮 1、辅助轮 2、摇臂 5、弹性压夹 7 和刀体 8 等元件组成。摇臂 5 装在弹性压夹 7 的轴 6 上，而偏心轮 1 和辅助轮 2 则分别装在摇臂 5 和弹性压夹 7 的轴 4 和 3 上，轴 4 和 3 的两端用弹簧 11 相连（见图 2-42 中 *A—A* 剖面），以使偏心轮 1 和辅助轮 2 能始终相互支持，偏心轮 1 上加工有正弦曲线槽 10（图 2-42b），其参数可根据断屑所要求的屑形来确定，也即正弦曲线槽的宽度 a 和深度 b，可按切屑的厚度和宽度来选定。

辅助轮 2 的直径和宽度应保证偏心轮 1 能在轴 4 上做不卡死的往复移动。根据切削条件的不同，偏心轮 1 上的偏心位置可以调节，如图 2-42c 所示。

车削时，从切削区流出的切屑进入到偏心轮 1 的正弦曲线槽 10 内，并使偏心轮转动，而同时偏心轮又将相对于被加工工件在轴 4 上作往复移动。由于上述两个运动，将使切屑根部产生了交变应力和周期性切应力，从而可保证达到稳定断屑的目的。

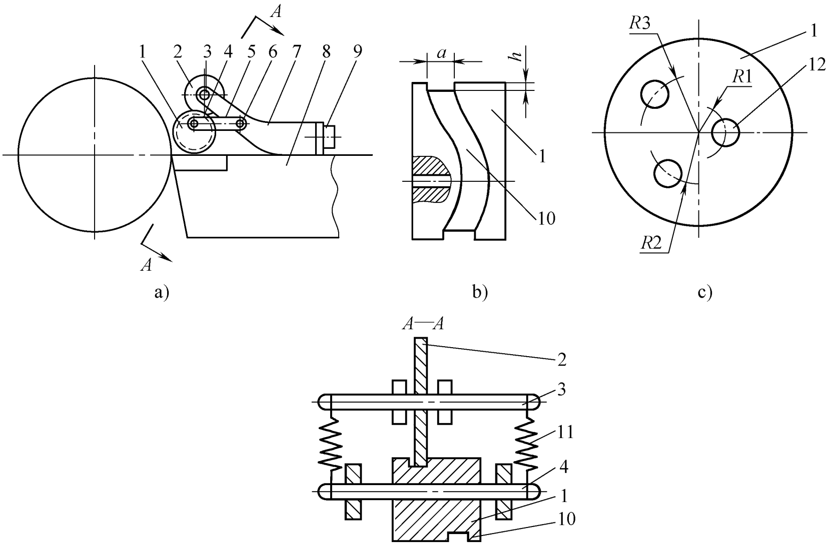


图 2-42　断屑器

a）断屑器外形　b）偏心轮上的曲线槽　c）偏心轮上的偏心位置

1—偏心轮　2—辅助轮　3、4、6—轴　5—摇臂　7—弹性压夹

8—刀体　9—螺钉　10—正弦曲线槽　11—弹簧　12—偏心孔位置

2.1.5　在车床上加工特殊轴类工件

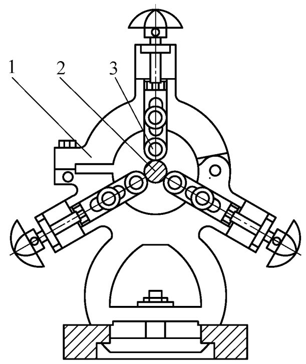
1. 车削超长轴

超长轴是指超过车床所允许加工最大长度的轴类工件。例如：在加长 C630 型（旧型号）车床上允许两顶尖间加工最大长度为 3000mm，若轴件长度超过 3000mm，则称为超长轴。

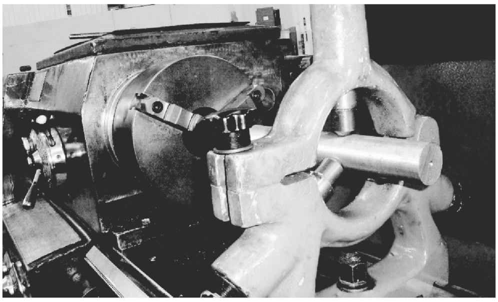
超长轴类工件外圆不圆时，为了防止轴件在中心架内转动时的跳动，可在支承处车出一条浅槽（浅槽能车圆就可以了，不要影响轴件的切削尺寸），浅槽的长度要大于中心架上支承爪的宽度，如图 2-43 所示。在轴类工件上不便于车出支承槽时，可采用图 2-44a 所示的方法，在轴的外圆上辅以一个套筒，用螺钉将套筒与轴件固定在一起。套筒的圆度要好。安装中心架时，要用百分表对套筒进行找正（图 2-44b），以减小转动中产生的径向圆跳动误差。

支承套筒有多种结构形式，使用图 2-45 所示的支承套筒装夹轴类工件时，可通过套筒上的八个螺钉调整和确定轴件的位置。

由于该轴件长度尺寸较大，一般使用自定心卡盘或单动卡盘装夹。这时，夹紧部分不能过长，一般为 15~20mm，以防止轴件夹紧后别劲而增添附加弯曲。为了减小轴件的夹持面与卡盘卡爪的接触面，可在轴端车出直径为 6~8mm 的圆弧形沟



a)

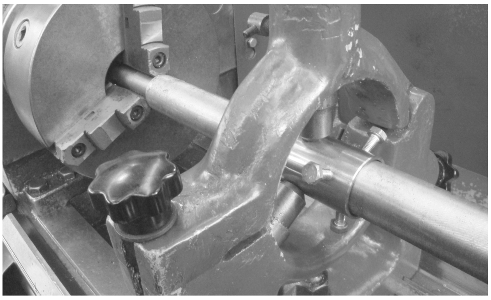


b)

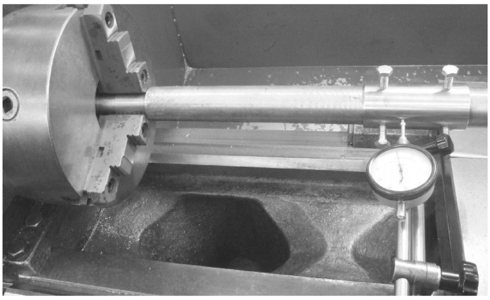
图 2-43　中心架及其安装方法

a）带滚动轴承中心架　b）轴类工件车出支承槽

1—中心架　2—工件　3—球轴承



a)



b)

图 2-44　利用套筒在中心架上安装超长轴

a）使用套筒安装超长轴　b）对套筒进行找正

槽，将直径相等的钢丝围成一个圆圈套在轴端处，如图 2-46 所示。这样，轴件与卡爪的面接触就成了线接触，保证了轴件轴线与主轴旋转中心的吻合，然后用卡爪将轴件夹紧。

加工时，先进行粗车，需要时，可掉头装夹加工另一端，最后进行精车。

2. 车削带弯曲大直径长轴

在车床上加工大直径长轴（如轴直径大于 150mm、长度大于 2000mm）时，若毛坯弯曲或粗加工经调质处理后轴件出现弯曲变形，而由于其直径大，校直较困难，则应该采用轴线偏移法进行装夹。

图 2-47a 所示是单向弯曲的长轴，在车床上安装时，先测出最大径向圆跳动误差值处 *A* 点。

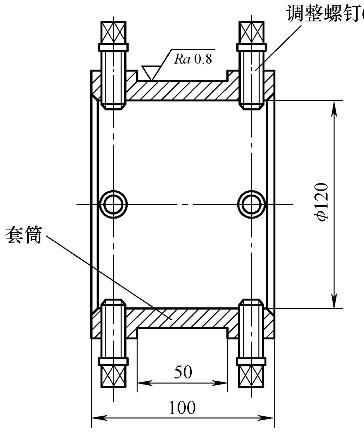


图 2-45　支承套筒

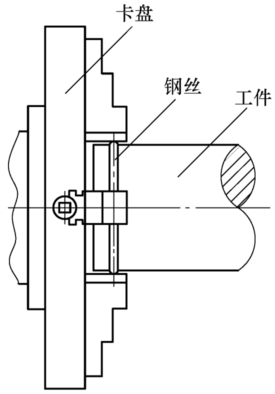


图 2-46　轴端套卡上钢丝圈

如图 2-47b 所示，取径向圆跳动误差为最大值一半的两个点 B 和 C。偏移轴件中心，使新的加工轴线通过径向圆跳动误差的一半的两点中心，这可通过在 C 处安装中心架，另一轴端用单动卡盘夹持并偏移 $\delta_a/4$ 来达到（测出另一径向圆跳动误差为 $\delta_a/2$ 的点），这时，再转动卡盘，重新检查长轴各处的径向圆跳动误差就可发现，最大径向圆跳动误差已降为原来的一半。

接着重车端面、打新中心孔、车近轴端的外圆，然后调头修正另一端中心孔，以备找正和安装中心架时使用。以后的加工，按正常顺序进行。

被加工长轴如果呈图 2-48a 所示的 S 形弯曲，则可分别找出相反方向径向圆跳动误差的两个最大值 δ_a 和 δ_b（图 2-48b），再向各自的轴端方向找出径向圆跳动误差各为一半的点。然后，按前面的方法偏移轴线，使之过此两点的中心。复核轴件各部的径向圆跳动误差，如不超过该处加工余量，即可加工。应注意的是，这时的最大径向圆跳动误差比原来最大径向圆跳动误差的一半略大。但轴件较长时，两者相差甚小。

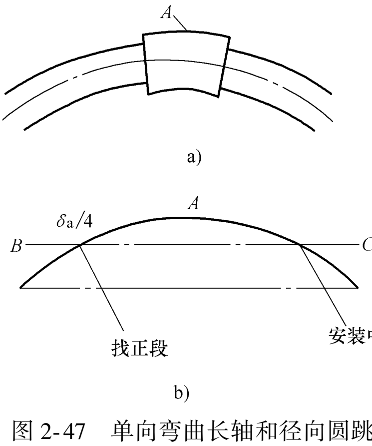


图 2-47　单向弯曲长轴和径向圆跳动误差
a）单向弯曲长轴　b）测出径向圆跳动误差

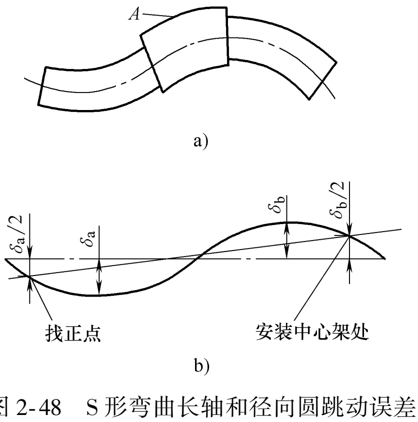


图 2-48　S 形弯曲长轴和径向圆跳动误差
a）S 形弯曲长轴　b）测出径向圆跳动误差

3. 车削斜角轴类工件

下面以图 2-49 所示斜角轴类工件为例进行介绍。由于它有两条夹角为 6°30′的回转轴线，车削时可采用图 2-50 所示套筒式夹具。粗车时，以轴件上 $\phi(40\pm0.008)$mm、$\phi17_{-0.033}^{-0.016}$mm 外圆回转轴线为加工基准。其中，轴件 $\phi50_{-0.017}^{0}$mm、ϕ48mm、ϕ30mm 外圆的粗车尺寸，按轴线夹角 6°30′计算确定，并留出精车工序余量，如图 2-51 所示。

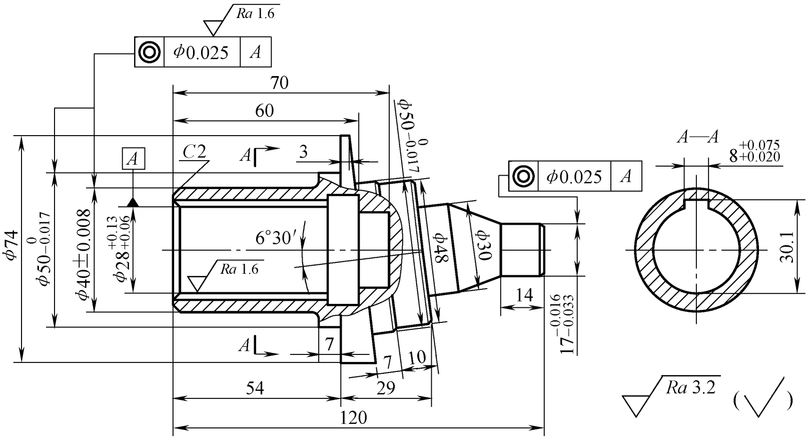


图 2-49　斜角轴类工件

为了保证轴类工件的同轴度要求，应以主轴和尾座的两顶尖间进行夹持（孔端使用外菊花顶尖），一次精车 $\phi50_{-0.017}^{0}$mm、$\phi(40\pm0.008)$mm 和 $\phi17_{-0.033}^{-0.016}$mm 等外圆。以 ϕ60mm 外圆为夹持面，精车孔 $\phi28_{+0.06}^{+0.13}$mm。最后，将工件 $\phi(40\pm0.008)$mm 外圆装夹于套筒夹具的孔内，精车 $\phi50_{-0.017}^{0}$mm、ϕ48mm 及 ϕ30mm 外圆等。

该轴件需要调质处理时，可将调质处理工序放在粗车后进行。

在制作套筒式夹具时，应注意保证以下几点：

1）夹持轴件 $\phi(40\pm0.008)$mm 外圆的套筒内孔轴线与套筒外圆轴线成 6°30′夹角。

2）套筒对工件的轴向定位端面与车削回转轴线（套筒外圆）夹角为 83°30′。

3）两轴线与套筒端面交点距离 $\overline{OO'}=3.034$mm。

4）图 2-50 所示的套筒实际上是一种弹性套类夹具，其材质为 4SiCrV，热处理硬度为 57～60HRC。为使夹具保持足够的夹紧力，应按此中心轴线方向均等铣削宽 2～2.5mm 的三条窄槽（双向或单向，若为单向窄槽，其中一条应铣通）。

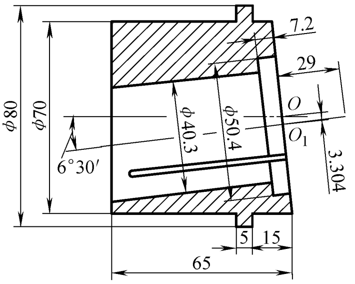


图 2-50　套筒式夹具

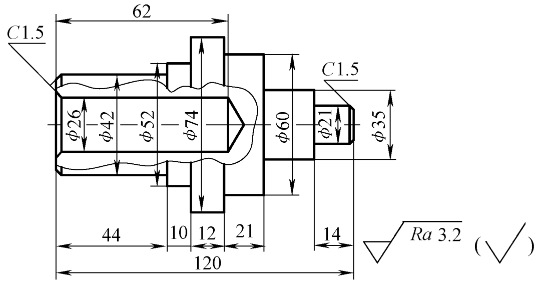


图 2-51　粗车留出精车余量

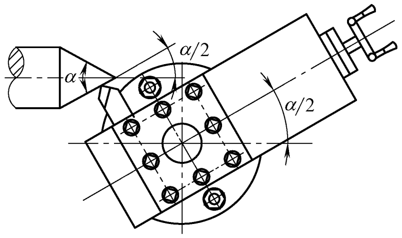
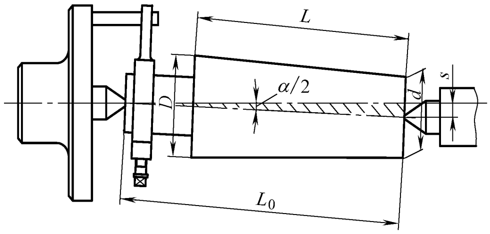
2.2　车削圆锥面、端面和切断

2.2.1　车削圆锥面

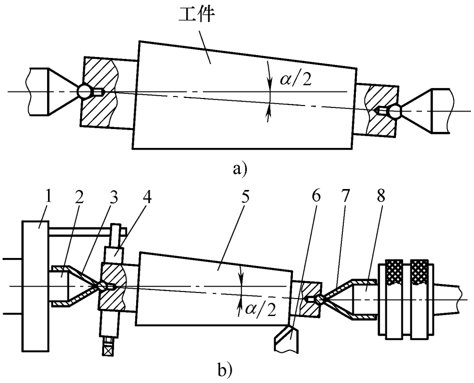
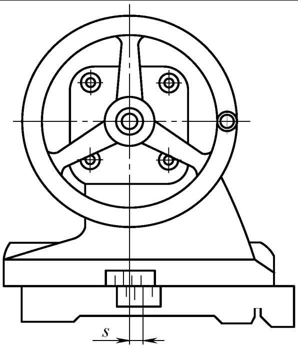
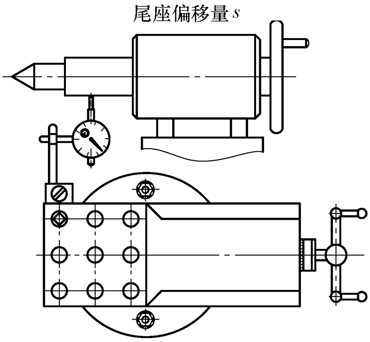
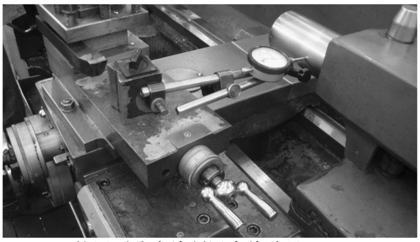
1. 车削圆锥面的基本方法

车削圆锥面时常采用转动小滑板法、偏移尾座法、宽刃车刀法、靠模法及铰削法等，见表 2-3。

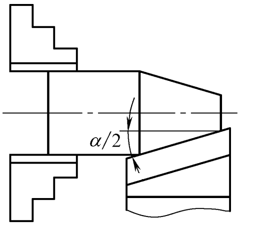
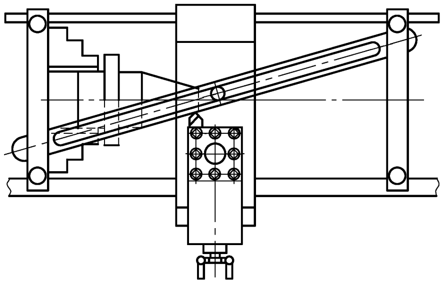
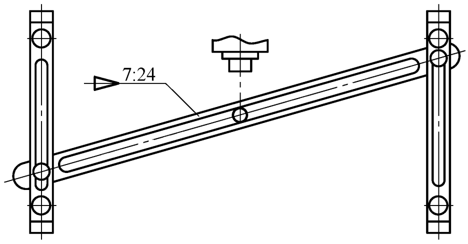
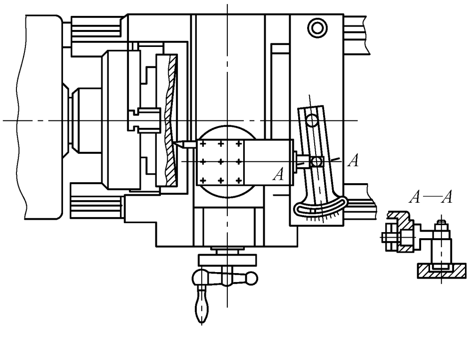
表 2-3　车削圆锥面的基本方法

加工形式	图　　示	特　　点	说　　明
转动小滑板法		该加工方法是按照被加工圆锥面的圆锥半角 α/2 转动小滑板，使小滑板导轨与车床主轴轴线相交成相应的角度，然后通过拧动小滑板手柄手动进给，将圆锥面车削出来	适用于长度较短、锥度较大的内外圆锥工件
偏移尾座法	 偏移尾座车外圆锥	将工件装夹在两顶尖间，使尾座偏移一个距离。这样，由于工件的回转中心线偏转了一个角度，通过机动进给，即可车削出圆锥面	适用于圆锥面较长，而锥度较小的外圆锥工件。用两顶尖装夹

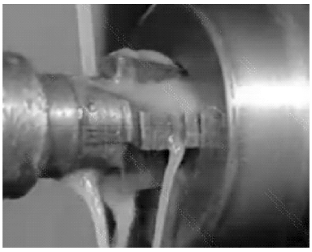
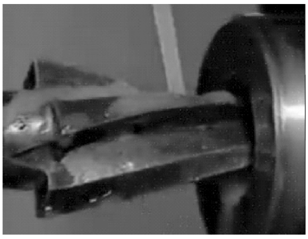
（续）

加工形式	图　　示	特　　点	说　　明
	 a）球头顶尖装夹外圆锥　b）球头顶尖套装夹外圆锥 1—拨盘　2—前顶尖　3—前球头顶尖套　4—鸡心夹头 5—外圆锥工件　6—车刀　7—后球头顶尖套　8—回转顶尖	将工件装夹在两顶尖间，使尾座偏移一个距离。这样，由于工件的回转中心线偏转了一个角度，通过机动进给，即可车削出圆锥面	适用于圆锥面较长，而锥度较小的外圆锥工件。用两顶尖装夹
偏移尾座法	 尾座偏移量 s   使用百分表控制尾座偏移量	可使用百分表控制尾座偏移量 s。当尾座对正零位的位置时，百分表触头与尾座套筒的中心线处接触，并使百分表指针对正零位，然后使尾座的上部朝着操作者方向移动，根据百分表指针的转动数值掌握尾座的偏移量 s	该方法适用于尺寸较小而又较深的内锥孔工件

（续）

加工形式	图　　示	特　　点	说　　明
宽刃车刀法		使用相应的宽刃车刀，直接将圆锥面车出来。要求车刀切削刃平直光滑。安装车刀时，要调整好切削角度，并且切削刃需与主轴中心线等高	适用于车削较短的内外圆锥面
靠模法		利用靠模法车削 7 : 24 锥体心轴时，抽出中滑板丝杠，把中滑板丝杠的螺母换成一个圆柱形滚轮。将靠模板用 V 形压板和托板夹紧在尾座与车床床头之间的两条导轨底面上。在左右两个托板上各有一条长槽，它的作用是按照工件要求调整被切削圆锥面的锥度。车削时，滚轮嵌入靠模板槽内，当溜板纵向进给时，滚轮带动中滑板横向移动，将圆锥面车削出来	靠模法适合在精度高和大批量加工中使用。通过靠模装置上的锥面，使车刀同时做纵向和横向进给，从而车削出与靠模相同的圆锥半角 利用靠模法车削内圆锥与车削外圆锥的原理完全相同，方法也很相似，但在结构方面，两者的主要区别是靠模的方向和位置相反
		利用靠模法车削内圆锥面时，靠模板固定在靠模座上，靠模板可按照刻度值调整锥度大小。将小滑板上的丝杠拆掉，在摇柄处装上一个滚轮，滚轮插在靠模板槽内，可以灵活滑动。车削中将溜板位置固定，当移动中滑板时，靠模板通过滚轮迫使小滑板同时进给，将内圆锥面车削出来	

（续）

加工形式	图　　示	特　　点	说　　明
铰削法	 a)  b) a) 锥孔阶梯钻　b) 锥度铰刀	在车床上铰孔时，要求尾座套筒锥孔中心线与主轴锥孔中心线等高和同心。加工时，先按锥孔的小头直径用麻花钻钻一个小孔，然后调头用阶梯钻钻成阶梯孔，最后用锥度铰刀铰孔 铰削前将原有的切屑清除干净，每进给 12～15mm 应将铰刀退回取出，以清除切屑，并加油润滑冷却 铰刀刃带宽度 < 0.1mm，刀齿必须锋利，否则，会加剧刀齿与孔壁摩擦，而影响加工质量	该方法适于尺寸较小而又较深的内锥孔工件

2. 改进传动装置车削圆锥面

（1）改变传动方式车削圆锥面

1）利用万向联轴器装置。图 2-52 所示是专用夹具，应用于多种不同圆锥面工件的加工。万向联轴器 3 安装在自定心卡盘 2 上，通过万向联轴器 3 将中心轴 5 与自定心卡盘 2 连接在一起。自定心卡盘 8 安装在中心轴 5 的右端，用于装夹圆锥面工件 9。夹具底座紧固在床身导轨上，转盘座的凸缘与底座凹槽配合。转盘体 6 下端外表面刻有刻度，转盘座上有基准线。转盘体 6 固定在转盘座上，松开紧固螺钉，即可按照圆锥面的圆锥角大小调整转盘体 6 的角度。调整好紧固后，开动车床即可进行圆锥面的加工。

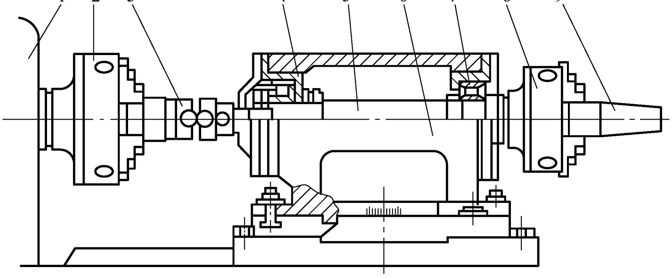


图 2-52　利用万向联轴器装置车削圆锥面工件

1—主轴箱　2、8—自定心卡盘　3—万向联轴器　4—圆锥滚子轴承
5—中心轴　6—转盘体　7—滚柱轴承　9—圆锥面工件

当工件的圆锥半角要求比较严格时，应先根据工件的圆锥斜角将转盘体 6 转过相应角度后，进行试切，然后使用相应锥度的圆锥套规（图 2-53）进行检查。

检查的方法是：在被车削出的外圆锥面上薄薄地涂上一层显示剂（红油或蓝油），将圆锥套规套在外圆锥面上慢慢转动，然后观察两者接触情况，如果接触面均匀，说明被车削圆锥面的锥度正确，否则，应找正转盘体 6 的转动角度。

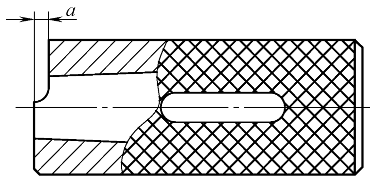


图 2-53　圆锥套规

检查中，普通工件的接触面和接触长度不低于 75%，精密工件不低于 80%，两者接触处应靠近大端。

利用这种装置也可车削内圆锥工件。

2）利用钢丝绳传动。这种办法适于大批量加工较长圆锥面工件时使用。图 2-54中，将中滑板手轮拆去，装上一个圆柱筒，细钢丝绳绕在圆柱筒上，其两端分别固定在床身上。当溜板机动进给时，通过圆柱筒和钢丝绳，带动中滑板和刀架自动横向进给，将工件车削出圆锥面。

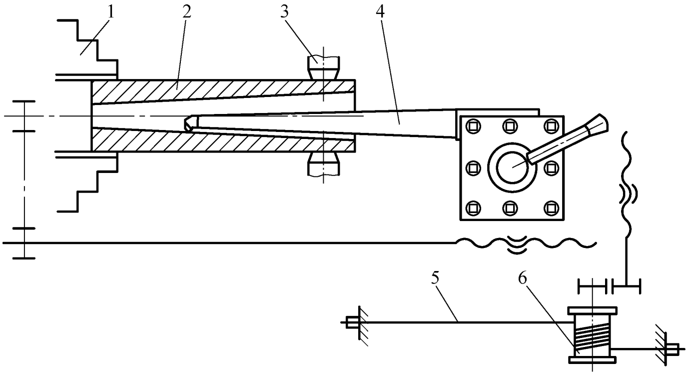


图 2-54　钢丝绳传动车削圆锥面

1—卡爪　2—工件　3—中心架卡爪　4—车孔刀杆　5—钢丝绳　6—圆柱筒

形成圆锥面的锥度大小与圆柱筒直径 D 有关，D 可用下式计算

$$D=\frac{d_{丝}}{\pi\tan\dfrac{\alpha}{2}}-d_0 \tag{2-1}$$

式中　$d_{丝}$——中滑板丝杠直径（mm）；

$\dfrac{\alpha}{2}$——被加工圆锥面的圆锥半角（°）；

d_0——钢丝绳直径（mm）。

（2）改进靠模装置车削圆锥面　图 2-55 所示是一种新型结构的车削圆锥靠模

装置，主要用以车削内圆锥一类工件。车刀16固定在摆动架3的方孔内，车刀刀尖与滚轮11的外圆底线处于同一水平位置，这样就保证了切削加工的准确性。心轴13为摆动架3的中心，嵌入架体14内的摆动架3可在加工中灵活摆动。调节螺钉6可调节压力弹簧7的压力，以保证滚轮11与靠模板10始终保持接触。靠模板10安装在靠模体9上，若靠模板10磨损，可随时进行更换。靠模板10与滚轮11为滚动接触，切削平稳性好。

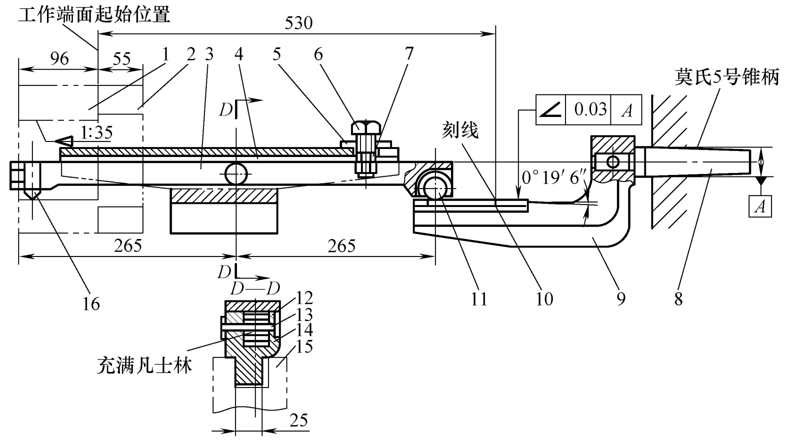


图2-55　改进靠模装置车圆锥（一）

1—工件　2—车床夹具　3—摆动架　4—衬板　5—螺套　6—螺钉　7—压力弹簧　8—莫氏锥柄　9—靠模体　10—靠模板　11—滚轮　12—衬套　13—心轴　14—架体　15—刀架　16—车刀

工件1装夹在自定心卡盘或其他形式的夹具上，由摆动架3等零件组成的摆动架组件安装在车床刀架上，这时，车刀16的刀尖应位于工件中心线上。由靠模体9等组成的靠模组件插入尾座套筒的锥孔内，靠模板平面应垂直于车床导轨平面。

开始加工时，车刀16的刀尖应位于图2-55中的工件端面起始位置，同时，移动尾座（或尾座套筒），使靠模板10上的刻线对准滚轮11的中心线，然后固定好尾座的位置。这样，对刀位置已经确定，开动车床，通过溜板的机动进给，即可进行车削。

该装置是通过靠模板10安装在靠模体9上的倾斜度保证被加工锥孔的圆锥半角的，所以应注意将其位置调整好；并且，在制作和调整该装置时应保证靠模板10上刻线处的回转直径等于工件内锥孔的大端直径。

图2-56所示是某厂在车削圆锥面时使用的一种靠模装置。它拆除了中滑板丝杠及螺母，装上一根丝杠6，用前后两个螺母8将其并紧在溜板的前后端面上。在丝杠6上穿上一个较硬的圆柱压缩弹簧7，并用固定在中滑板上的弹簧座5将压缩弹簧与中滑板连成一体，这样，装在轴承座3上的滚珠轴承2就能始终紧紧顶住靠模板1。

装有靠模板1的靠模装置如图2-57所示。上靠模板2的反面铣有纵向直槽。下靠模板3的正面铣有横向直槽。该装置配置了上滑块5和下滑块7，当松开压紧螺母11，正向或反向转动手柄9时，微调螺杆8就带动下滑块7在下靠模板3的横向直槽中做后退或前进的直线运动，通过小轴6可使上滑块5和上靠模板2一起绕定位柱4在水平面内转动，从而达到调整靠模板倾斜度的目的。在制作时，应使上滑块5的方形尺寸比下滑块7略大一些，一般以大2~4mm为宜，以免上滑块嵌入下滑块的横向直槽中，造成机构失灵。

加工前，调整好靠模装置上靠模板的倾斜度。如图2-57所示，上靠模板2紧紧顶住靠模板1使其做斜度运动，配合溜板的机动进给，将圆锥面车削出来。

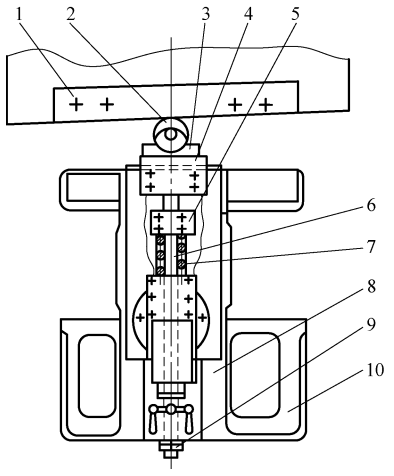


图2-56　改进靠模装置车圆锥（二）

1—靠模板　2—滚珠轴承　3—轴承座　4—辅助块　5—弹簧座　6—丝杠　7—压缩弹簧　8—螺母　9—车床溜板　10—中滑板

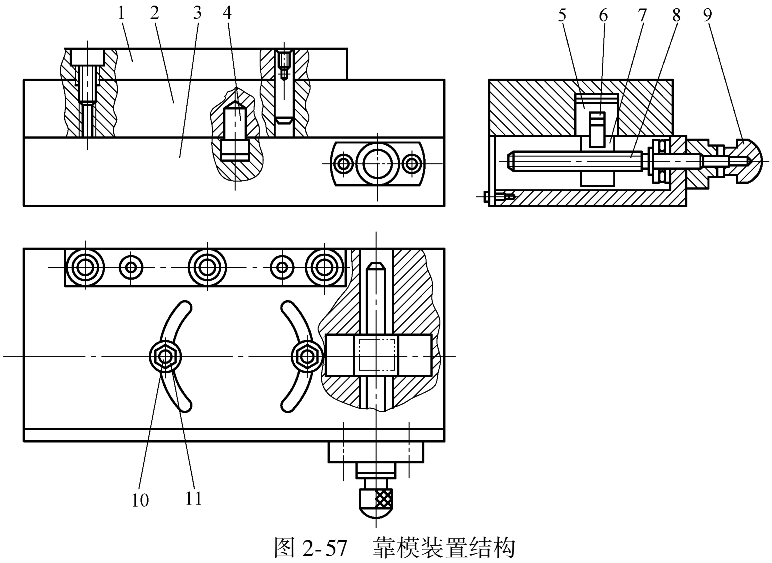


图2-57　靠模装置结构

1—靠模板　2—上靠模板　3—下靠模板　4—定位柱　5—上滑块　6—小轴　7—下滑块　8—微调螺杆　9—手柄　10—锁紧螺栓　11—压紧螺母

（3）改装车床车削圆锥面　大批量加工圆锥面（车外圆锥或内圆锥）工件时，为了提高效率，可采用改装车床（为了不破坏车床精度，最好使用旧车床）的方法。下面以某厂改装原型号C620-1型车床为例进行介绍。

1）改装主轴箱。原 C620-1 型卧式车床主轴箱体与床身连接是以 V 形导轨定位的，用 6 只 M20 螺栓固定。为了车削圆锥面，需将主轴箱体转动 $\alpha/2$ 的角度（图 2-58a），调整后将主轴箱位置固定。在主轴箱未固定前，为了保证转动角度的准确，应进行校准。校准方法是：将长度等于 300mm、圆锥半角为 $\alpha/2$ 的标准样棒插进主轴锥孔内，百分表固定在溜板上，使溜板沿着标准样棒纵向移动，若百分表指针稳定，则主轴箱转动角度正确，否则应重新进行调整。

为了防止主轴箱调整后在切削过程中位置移动，可使用定位销将主轴箱定位，如图 2-58b 所示。

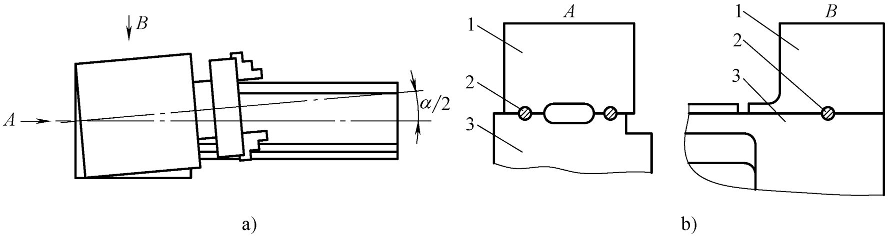


图 2-58　改装主轴箱车削圆锥面

a）主轴箱调位情况　b）主轴箱利用定位销定位

1—主轴箱　2—定位销　3—床身

如果工件外形不规则或外径较大，工件不能旋转，这时则需要垫高主轴箱，如图 2-59a 所示。

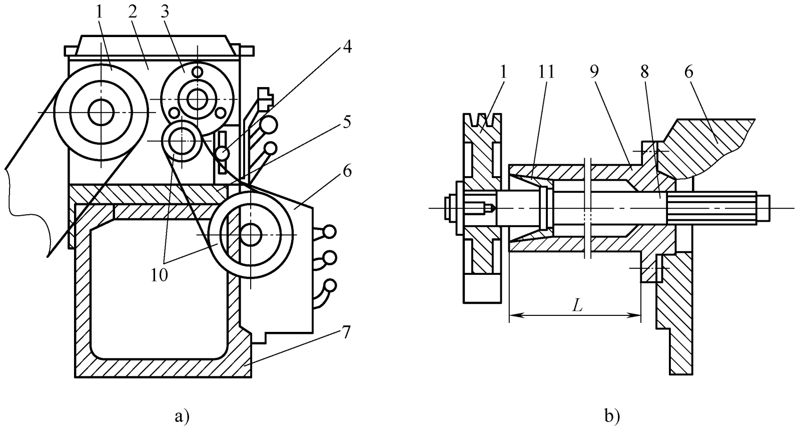


图 2-59　垫高主轴箱和安装带轮

a）垫高主轴箱　b）带轮安装方法

1—进给箱 V 带轮　2—主轴箱　3—主轴后端盖　4—传动带张紧机构　5—垫板

6—进给箱　7—床身　8—花键轴　9—法兰　10—主轴箱 V 带轮　11—滚动轴承

当主轴箱垫高后，刀架也要垫起相应高度（图 2-60），以保证刀架位置与主轴中心线的一致性。

2）改装进给机构。原 C620-1 型卧式车床的进给传动均为齿轮传动，其传动路线为：主轴箱→交换齿轮箱→进给箱→光杠、丝杠→溜板箱。由于主轴箱转动了 $\alpha/2$ 的转角，齿轮已经不能传动，所以改装中需采用 V 带传动（图 2-59）的形式。改装时，拆卸整个交换齿轮箱，在主轴箱输出轴（此轴已换新，对其输出的花键部分加长 50mm）上加装一只 ϕ100mm 的双槽 V 带轮。进给箱输入齿轮改为 ϕ180mm 双槽 V 带轮，这样，V 带将动力由主轴箱向进给箱传递。

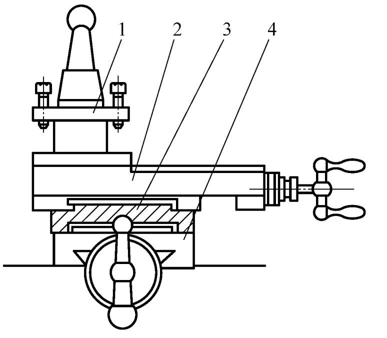


图 2-60　使用垫高刀架

1—垫板　2—小滑板　3—垫板　4—中滑板

为了使 V 带传动正常和保持一定的拉紧力，需加装 V 带张紧机构。这时，可利用原主轴箱体上两个 M14 的螺孔（原装交换齿轮箱用），在靠近小带轮紧边处加装了 V 带张紧机构（图 2-59a），利用座板上的长形槽孔可随时调整 V 带的张紧程度，从而使 V 带保持固定不变的拉紧力，保证了带传动的可靠性。原进给箱输入花键轴与法兰（铸铁）外伸量较长（图 2-59b 中的 L 长度），现由于拆卸了交换齿轮箱体，“L”应适当缩短，所以应对法兰和花键轴 8 重新加工。经装配，使主轴箱 V 带轮 10 与进给箱 V 带轮 1 基本保持在同一平面上。

当圆锥面工件加工完毕后，可恢复被改装车床的原状，并保证原车床的精度。

3. 保证锥面加工质量的工艺措施

（1）小滑板扳转角度的精确调整　表 2-3 中介绍了转动小滑板车削圆锥面的方法，但由于车床上的小滑板刻度盘大多是以“°”为最小单位的，而圆锥工件的圆锥半角 $\alpha/2$ 则是以“°”“′”“″”为计算单位的，为了使小滑板能准确地转到所需角度，可采用以下精确调整方法。

图 2-61 所示为一圆锥面工件，可把它分解成一个矩形和两个直角三角形，AC 与 AB 所形成的夹角 $\alpha/2$ 就是工件的圆锥半角。车削圆锥面时，当车刀的刀尖行进 $\overline{AC}$ 的距离时，车刀需相应位移 $\overline{BC}$ 的距离。

为了达到上述目的，可以在小滑板上安置一个磁性百分表座，使百分表的触头对准机床中心并接触尾座套筒的素线（图 2-62），然后将溜板纵向移动 100mm，检验尾座套筒与床身导轨是否平行。在其平行的情况下，松开小滑板底部的紧固螺母，并按工件圆锥半角转动小滑板，接着摇动小滑板手柄，使小滑板斜向移动图 2-61 中 $\overline{AB}$ 的距离，同时使百分表中出现图 2-61 中 $\overline{BC}$ 的数值。这样就能得到车削圆锥半角为 $\alpha/2$ 的工件。当小滑板转动后移动距离为 100mm 时，计算关系为

$$\beta=\overline{AB}\sin(\alpha/2)$$

$$\tan\alpha=C/2$$

式中　C——锥度（°）。

当$\overline{AB}=100\text{mm}$时

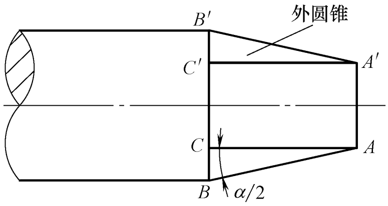


图 2-61　圆锥面工件

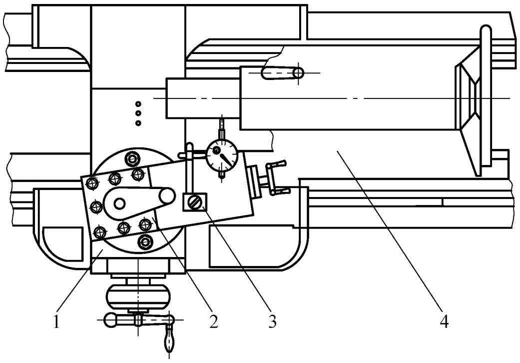


图 2-62　精确调整小滑板角度（一）

1—中滑板　2—刀架　3—磁性百分表架　4—尾座

$$\overline{BC}=100\sin[\arctan(C/2)]$$

表 2-4 和表 2-5 中分别列出了车削各种圆锥面，用百分表测尾座套筒侧素线时的不同读数值（等于$\overline{BC}$距离）。需要提示的是：发现尾座套筒与床身导轨不平行时，可在移动溜板 100mm 时，记取百分表出现的误差数值和方向，然后在移动小滑板 100mm 时将上述误差数值相应地增减于百分表读数上。

表 2-4　车削标准圆锥面时的百分表读数值（小滑板移动距离$\overline{AB}=100\text{mm}$）

圆锥度 C	百分表读数/mm	圆锥度 C	百分表读数/mm
1∶200	0.25	1∶10	4.99
1∶100	0.50	7∶64	5.46
1∶50	1.00	1∶8	6.24
1∶30	1.67	1∶7	7.125
1∶20	2.50	1∶5	9.95
1∶16	3.13	1∶4.07	12.19
1∶15	3.33	7∶24	14.43
1∶12	4.16	1∶3	16.44

表 2-5　车削莫氏圆锥面时的百分表读数值（小滑板移动距离$\overline{AB}=100\text{mm}$）

莫氏号数	百分表读数/mm	莫氏号数	百分表读数/mm
0	2.60	4	2.60
1	2.49	5	2.63
2	2.50	6	2.61
3	2.51	—	—

图 2-63 所示是又一种精确调整小滑板扳转角度的方法。当圆锥半角不大于 45°时，先使小滑板大致扳转到工件圆锥半角后，将百分表安装在刀架上，使百分表的

触头对准机床中心并接触圆柱形工件的侧素线。注意：百分表触头必须垂直于工件的轴线（图 2-63a），当圆锥半角大于 45°，且百分表触头接触工件的端面，并垂直于该端面，调整小滑板角度时，小滑板与主轴轴线成 $\alpha/2$ 夹角，小滑板做斜向移动时，千分表在横向及纵向也发生移动，并在百分表上反映出移动的距离，这时具有以下关系：

$$\alpha/2 \leqslant 45°$$

sin($\alpha/2$) = 百分表读数/小滑板移动的距离；

$$\alpha/2 > 45°$$

cos($\alpha/2$) = 百分表读数/小滑板移动的距离。

使百分表读数调整为零，小滑板斜向前移 10mm，将百分表读数同需要的正弦角（$\alpha/2 \leqslant 45°$）或余弦角（$\alpha/2 > 45°$）进行比较。当角度正确时，百分表产生的读数正好等于工件圆锥半角的正弦值或余弦值（若百分表具有更大的测量值，可将小滑板移动 20~30mm，那就相应地乘以正弦或余弦值）。

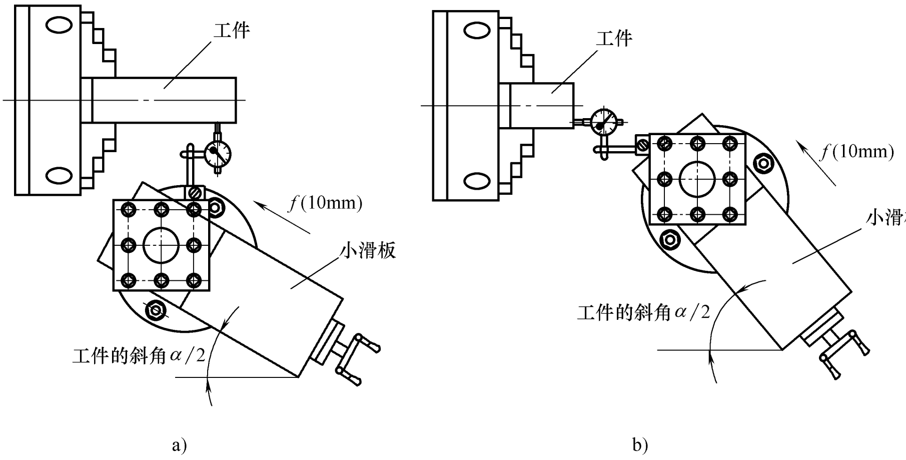


图 2-63　精确调整小滑板角度（二）

a）$\alpha/2 \leqslant 45°$调整方法　b）$\alpha/2 > 45°$调整方法

例　一圆锥面工件的圆锥半角为 30°36′，另一圆锥面工件的圆锥半角为 50°，当小滑板移动 10mm 时，百分表的读数是多少？调整的角度是否正确？

解　查三角函数表知：

$$\sin 30°36' = 0.5090$$

$$\cos 50° = 0.6428$$

即：当小滑板移动 10mm 时，第一个圆锥面工件百分表的读数为 0.5090mm，第二个圆锥面工件百分表的读数为 0.6428mm，则小滑板转动角度正确。

（2）按照外圆锥配制内圆锥　按照一个外圆锥配制内圆锥时，可采用图 2-64

所示的简便方法。将外圆锥装夹在自定心卡盘上（图中自定心卡盘未画出），使百分表触头抵住被配制的外圆锥面（图2-64a）；松开固定小刀架的螺母，使小刀架斜向沿着外圆锥侧素线移动，在外圆锥全长上百分表指针稳定时，将小刀架固定住；然后装上车孔刀（图2-64b），使小刀架沿着已确定的斜向移动，车削内圆锥面。

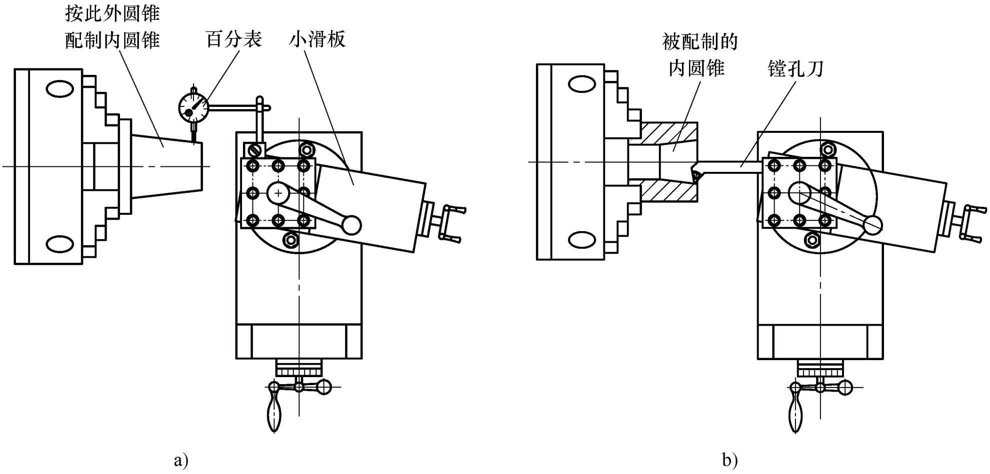


图2-64　按照外圆锥车削内圆锥

a）调整小刀架移动位置　b）车削内圆锥

（3）车削互相配套的内外圆锥　车削互相配套的内外圆锥时，若采用车削好一个内圆锥或外圆锥，然后反向转动小滑板角度，再车削另一个的操作方法，不仅效率低，同时内外圆锥面往往不能准确密合。这时可采用下面的方法：将小滑板转到准确角度，先车削外圆锥面（图2-65a），按照要求车好后，不转动小滑板位置，接着车削内圆锥面，这时，车床主轴反转，车孔刀反装（图2-65b，或者主轴正转，车刀切削刃向下）进行车削。切削中，车刀刀尖要严格对正工件旋转中心。利用这种方法车出的内外圆锥能够严密地配合。

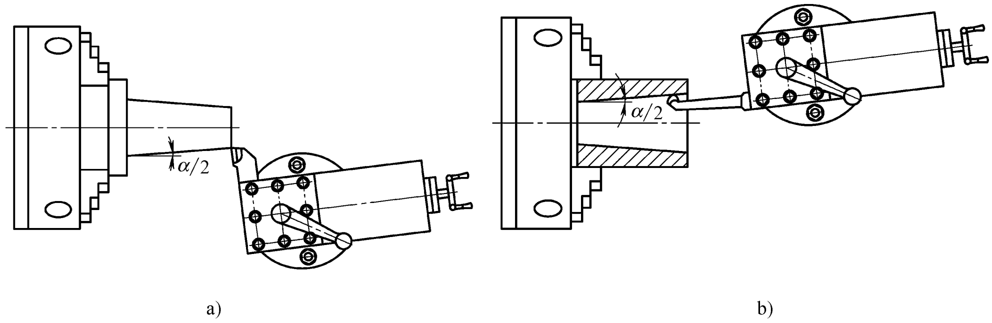


图2-65　车削配套的内外圆锥

a）先车削外圆锥　b）接着车削内圆锥

（4）控制内外圆锥尺寸

1）控制外圆锥切削尺寸。如图2-66所示，当调整好小滑板转动角度并进行粗车和半精车后，中滑板位置不动，接着摇动小滑板手柄，使小滑板带动车刀退到外圆锥端面以外的L处，并使$L>A$（A为待车削长度）；然后向主轴方向精确移动溜板（可利用百分表进行控制），其移动值等于A，接着可摇动小滑板手柄，使小滑板斜向移动进行车削，这样车出的外圆锥即可保证圆锥半角的要求。

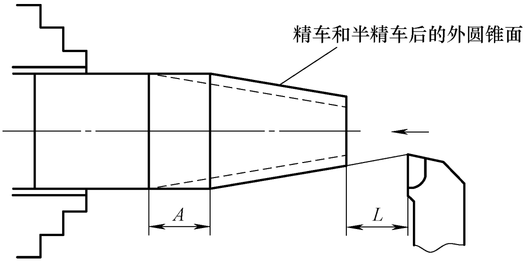


图2-66　控制外圆锥尺寸

2）控制内圆锥切削尺寸。车削内圆锥时，有时出现工件的锥度已经正确，而锥孔尺寸还小的情况。为了保证车削出的锥孔尺寸合格，就需要准确地计算进给量。这时，可先使用标准圆锥塞规塞入锥孔内，但由于锥孔小，圆锥塞规塞进的长度不能达到界限，会余出尺寸a，如图2-67a所示。测出尺寸a的数值，接着取下圆锥塞规，移动滑板，使内孔车刀的刀尖接触锥孔大端与端面的接合点处，然后摇动小滑板（小滑板车锥孔时，所转动角度不变），使内孔车刀的刀尖离开工件端面a的距离，如图2-67b所示；接着向着工件方向移动溜板，由于溜板是沿导轨方向平行移动的，虽然没有移动中滑板，但内孔车刀已经增加背吃刀量了。所以，就可以车削锥孔了。这样，就能准确地控制加工尺寸了。

（5）圆锥面车削加工中的双曲线误差及其控制　圆锥体是一种有一定几何形状和圆锥角要求、素线为直线的旋转体，车削圆锥面过程中，车刀刀尖的运动轨迹和圆锥面素线是否重合，关系到圆锥面的质量。

车削加工时，为了改善切削条件，常采用正前角车刀。但对于车削圆锥面工件来说，车刀有了正前角，其切削刃与圆锥面素线就不重合了，将导致车削出的锥体产生双曲线误差。

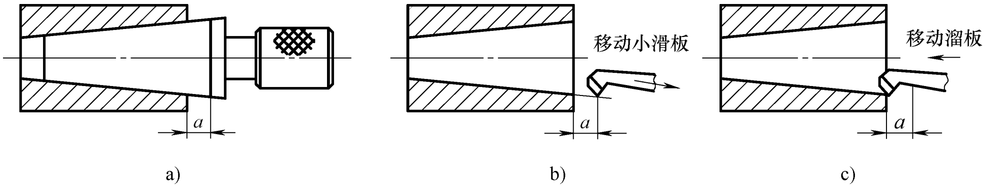


图2-67　车削锥孔

a）测出余下尺寸　b）内孔车刀的刀尖离开接合点距离a　c）内孔车刀接触工件

一般外圆车刀加工圆锥面时，当刀尖安装中心高度出现正、负偏差，即车刀刀尖安装得偏离中心平面Oxz有一距离k（图2-68a）时，车削出的锥面曲线将是一

个旋转双曲面，如图 2-68b 所示。

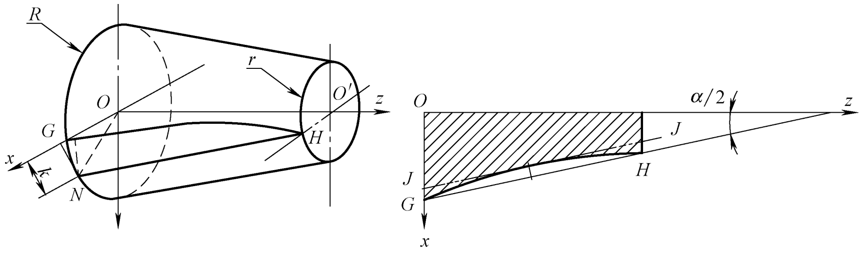


图 2-68　车削圆锥面时的双曲线误差

a）车刀刀尖高度对锥体表面的影响　b）出现双曲线误差

需要指出的是，这种双曲线误差值是很小的，所以，对于一般的、较粗糙的圆锥面工件影响并不大。但对于高精度圆锥面或用于气密封的圆锥面，车削中就需要采用措施，严格保证刀尖的运动轨迹与圆锥面素线相重合，否则，会导致锥面出现凹形或凸鼓形，影响圆锥面素线的直线度和圆度，也影响了圆锥面配合时的接触面积。

4. 圆锥面工件的检测

外圆锥锥度的测量锥度即圆锥面的圆锥角 α，它等于两倍的圆锥半角。外圆锥锥度除了使用圆锥套规和正弦规（图 2-69）进行测量外，还可采用以下方法：

1）在车床上用百分表测量。如图 2-70 所示，将百分表固定在车床溜板上，百分表测头先抵住外圆锥小端，记住百分表读数；然后，使溜板移动到外圆锥大端，记下百分表读数。溜板的移动距离通过溜板处刻度盘掌握，这时大小端读数的差值与溜板移动距离的比值即为该圆锥面的锥度的正切值，其计算式如下：

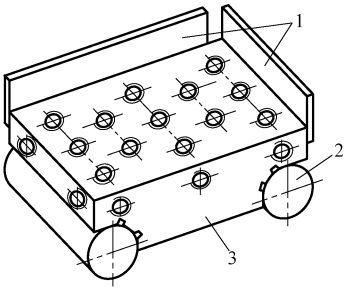


图 2-69　正弦规

1—挡板　2—圆柱　3—主体

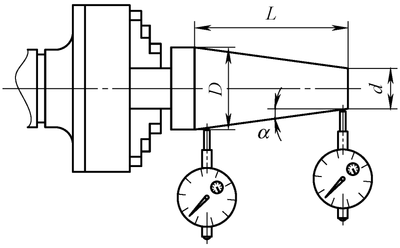


图 2-70　在车床上用百分表测量外圆锥锥度

$$\tan\alpha = \frac{D-d}{L} \tag{2-2}$$

式中　α——外圆锥锥度（°）；

D——百分表在大端测得的读数（mm）；

d——百分表在小端测得的读数（mm）；

L——百分表测头在外圆锥上的测量长度（mm）。

2）使用专用工具测量。如图 2-71 所示，在圆柱形套筒 4 上部水平地钻出两个同心通孔，孔中安装千分尺 1，套筒 4 的下端至同心通孔中心线的距离 *L* 和套筒 4 的内径 *D* 对于所给定的测量范围是一个定值。固定端测量杆 3 和可调测量杆 2 均做成加长的形式，其头部为尖形。使用时，先装上千分尺 1，然后将套筒 4 套装到外圆锥工件 5 上，把它放正，并使固定端测量杆 3 和可调测量杆 2 都与工件圆锥面接触好，拧动千分尺上的测微装置，测出数值 *d* 并记下来。这时，利用下式计算被测外圆锥的锥度：

$$\tan\alpha=\frac{D-d}{2L}$$

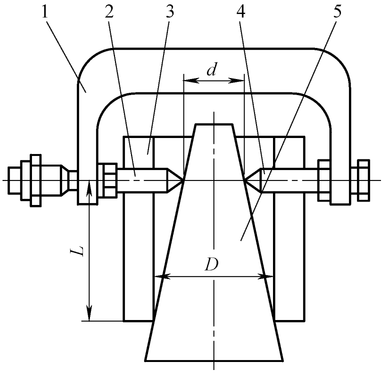


图 2-71　使用专用工具测量外圆锥锥度

1—千分尺　2—可调测量杆　3—固定端测量杆　4—套筒　5—外圆锥工件

2.2.2　车削端面

1. 端面车削形式

车削普通工件端面时，将工件装夹在自定心卡盘上，如图 2-72 所示。使用千分表或划线盘将工件找正后，即可进行车削，如图 2-73 所示。

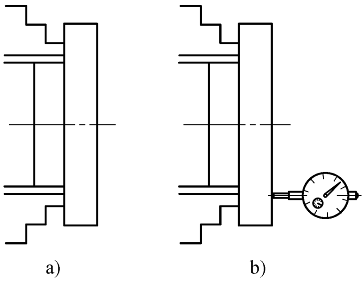


图 2-72　普通工件端面

a）装夹工件　b）将工件找正

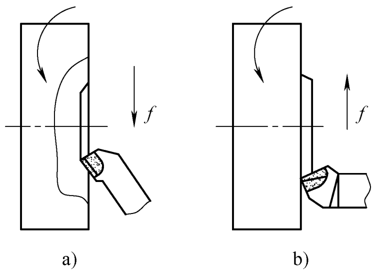


图 2-73　车端面的进给形式

a）由里向外进给　b）由外向里进给

对于厚度不大的端面，为了防止加工中工件变形和提高加工效率，可采用对刀法。

（1）对刀法同步加工板形工件上端面　由于板形工件厚度很小，加工刚性差，所以若用常规方法加工，往往达不到几何公差要求和表面结构要求。

对刀法所使用的对刀杆刀具如图 2-74 所示，通过锁紧螺钉将两个切削刀片固

定在刀体上，根据加工需要，两个切削刀片可以调整伸出长短，以保证两刀片间的距离。

加工时，将板形工件安装在心轴上（图 2-75），通过螺母将其固定，将对刀杆刀具安装在刀架上，对正切削位置后，即可进行加工。该方法同时使用两把车刀进行车削，进给力大部分相互抵消，有效地提高了加工刚性和生产率，也可降低表面粗糙度值。

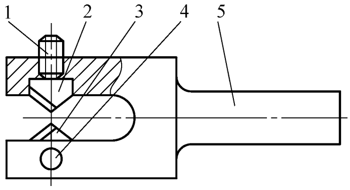


图 2-74　对刀杆刀具

1、4—紧固螺钉　2、3—刀片　5—刀体

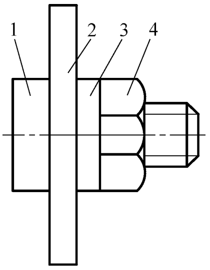
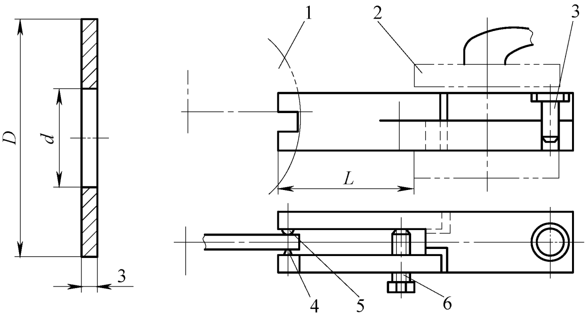


图 2-75　装夹板形工件

1—心轴　2—工件　3—垫圈　4—螺母

当被加工板形工件直径较大又很薄（图 2-76a），且只需要切削一个端面时，可采用图 2-76b 所示的特制刀杆，在车刀刀杆上安装刀头切削工件，滚压刀杆上装有滚珠，和切削刀头相对应，在工件另一端面支承工件。刀杆的悬伸长度 L 可进行调整，通过调整螺栓可控制工件端面的加工尺寸。



a)　b)

图 2-76　加工薄板件

a）薄形板件　b）加工方法

1—工件　2—刀架　3—销轴　4—车刀　5—滚压轮　6—调整螺钉

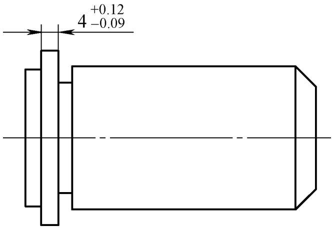


图 2-77　带凸肩台工件

加工图 2-77 所示工件的左面和凸肩台小端面时，也可利用上述原理进行车削。两把车刀同时安装在刀体上（图 2-78），其间距等于凸肩台宽度。侧面螺钉可以微调车刀位置，上螺钉将车刀位置固定。

加工时，将原刀架卸掉，将该工具装上，调整好两车刀间距离后，即可进行加工。

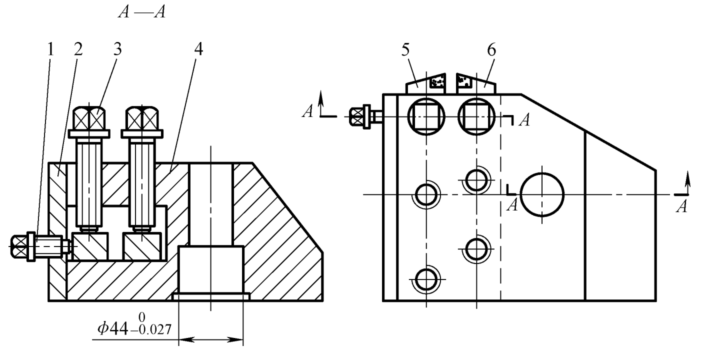


图 2-78　双刀加工凸肩台工件

1—侧螺钉　2—侧板　3—上螺钉　4—刀体　5—车刀一　6—车刀二

（2）对刀法同步加工沟槽端面　图 2-79 所示工件两内侧台阶端面的精度要求较高，若用常规方法进行加工，不仅效率低，也很难保证技术要求，而若采用图 2-80 所示的装置，则简化了切削工步，提高了加工效率。

图 2-80 中，带内螺纹的斜块 3 既和支架螺母 9 组成差动螺旋微调机构，又与斜铁 4 组成斜面微调机构。斜块 3 将差动螺旋微调机构和斜面微调机构连为一体。使用时，右偏刀 1 固定不动，只调整左偏刀 6 的相对位置。调整时，先松开压紧螺钉 8，当旋转螺杆 10 时，螺杆 10 的大端在固定支架螺母 9 中转动，而小端则在可横向移动的斜块 3 中转动。由于斜铁 4 两头夹在刀架体 11 上，只可在刀架体上沿纵向滑移，这样斜铁4就产生了与斜块3运动方向相垂直的移动，从而达到使左

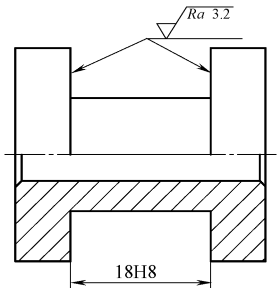


图 2-79　车两内侧台阶端面的工件

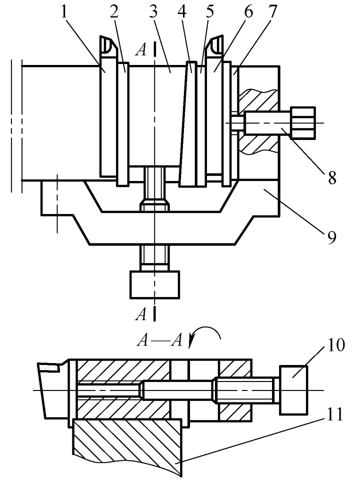


图 2-80　对刀法同步加工沟槽端面装置

1—右偏刀　2、7—连接块　3—斜块　4—斜铁　5—中间板　6—左偏刀　8—压紧螺钉　9—支架螺母　10—螺杆　11—刀架体

偏刀 6 位置得到调整的目的。调整后旋紧压紧螺钉 8，微调机构便可牢固定位。

螺杆 10 上大、小端螺纹的旋向相同，大端导程为 $P_{h大}$，小端导程为 $P_{h小}$，则当螺杆 10 转动角 ϕ 时，斜块 3 移动的距离 S_1用下式计算：

$$S_1=(P_{h大}-P_{h小})\frac{\phi}{2\pi} \tag{2-3}$$

若斜块 3 与斜铁 4 的配合斜度为 M，则斜铁 4 移动的距离 S_2用下式计算：

$$S_2=MS_1$$

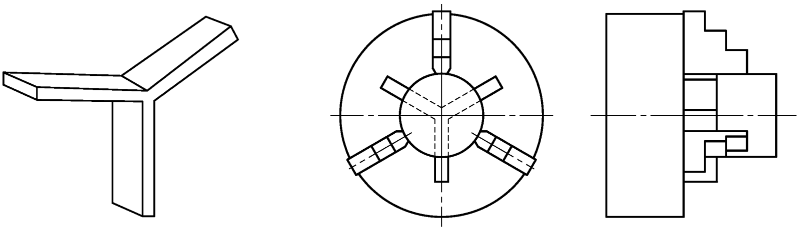
S_2即为左、右两把偏刀间距的调节位移 S。

图 2-80 所示为车削沟槽内端面时的装刀情况，车削外侧端面时，只需将左、右偏刀交换位置即可。

2. 车削端面时的工件定位和特殊装夹形式

（1）保证薄形工件平行度的装夹　车削薄形工件端面时，在自定心卡盘上不容易夹正工件，可承受的切削力也小。单件加工时，一般是将薄形工件在卡盘上轻轻夹住，用刀架上装夹的铜棒在旋转的工件端面轻轻靠一下，再加力夹紧。批量加工时，也往往采用在卡爪的圆弧面上车一止口，将工件在止口小端面上靠平进行车削。这样虽能保证工件的平行度，但会破坏卡爪，且对薄厚尺寸不同的工件难以得到合理的夹持。

如何保证工件的平行度要求和夹持位置的准确是车削薄形工件中不可忽视的问题。图 2-81 所示是将一个 Y 形平行垫放在卡盘和工件之间，使工件端面紧贴 Y 形垫的定位面，这样将工件夹紧后，车出的两端面是平行的。



a)　　　　b)

图 2-81　使用平行垫定位装夹工件

a）Y 形平行垫　b）利用 Y 形平行垫装夹工件

图 2-82 所示是将锥度心轴插入主轴锥孔内，使工件靠紧心轴的定位端面，然后将工件夹紧进行车削。

以上介绍的两种定位装夹工具，虽给车削薄形工件端面时的装夹和保证其平行度带来一定方便，但不能适应所有薄形工件的装夹要求。图 2-83 所示是一种可调式定位装夹工具，它由带内螺纹的可调定位件和带外螺纹的主体组成，使用时将其放在自定心卡盘和工件之间。转动可调定位件，即可改变整个定位工具的厚度，适应不同厚度工件的装夹需要。

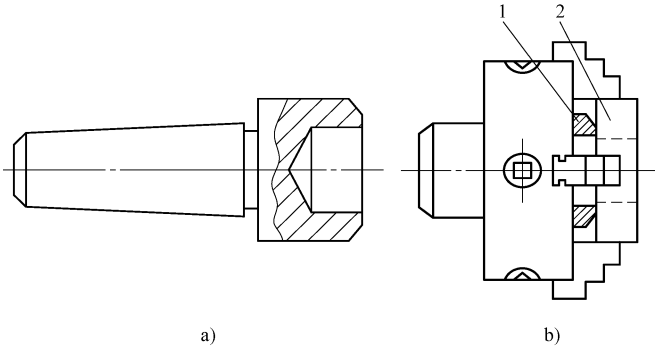


图 2-82　使用锥度心轴定位装夹工件

a）锥度心轴　b）工件端面靠紧心轴

1—锥度心轴　2—工件

制造该工具时要保证螺纹轴线的垂直度，根据工件不同批量和精度，螺纹配合应选择合理的精度，以保证端面 *A* 和端面 *B* 间的平行度要求。

图 2-84 和图 2-85 所示的两种定位装夹工具都是通过螺纹改变其伸出距离的。在装夹薄形工件时，通过调整定位件的位置，就能起到好的限位作用，保证两端面的平行度要求。使用这两种定位工具装夹轴类工件时，还可起到防止工件轴向窜动的作用。

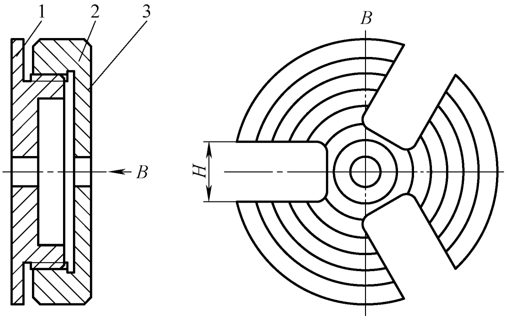


图 2-83　可调式定位装夹工具（一）

1—主体　2—可调定位件　3—定位平面

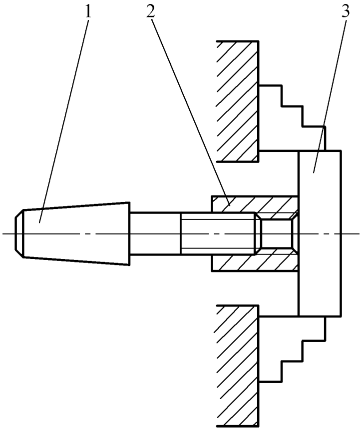


图 2-84　可调式定位装夹工具（二）

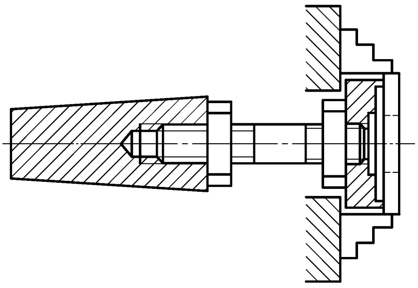


图 2-85　可调式定位装夹工具（三）

（2）防止薄形工件变形的装夹　图2-86 所示是对平行度和平面度都有要求的薄形工件，由于它的刚性差，变形可能性大，所以装夹有一定难度。

加工该工件时，采用了 704 硅橡胶，将工件粘结在心轴上。粘结的面积不宜过大，以保证工件的绝大部分处于不受外力作用的自然状态下。经固化 12～24h 后，将粘有工件的心轴装入弹簧套中。采用该方法，可使薄形工件的变形量降到最低程度，这是使用机械夹紧方法所难以达到的。

图 2-87 中，轴套 1 可装夹在车床卡盘上，当旋紧压帽 2 时，压挤弹簧套 3 向左收缩，而将心轴 4 夹紧，并以厚呢布 6 作靠面进行精加工。用厚呢布作靠面主要是起消振作用，使工件受力均衡。加工完毕后，将工件粘结部分浸泡在汽油中，1h 后工件就能脱胶。

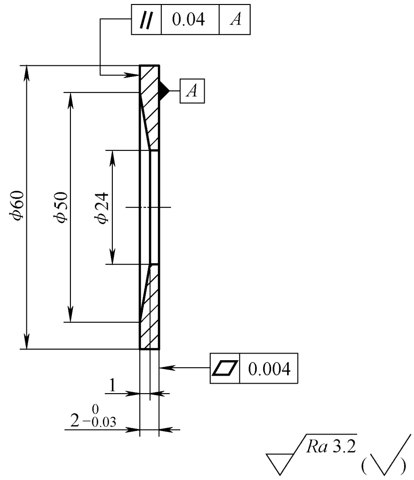


图 2-86　有几何公差要求的薄形工件

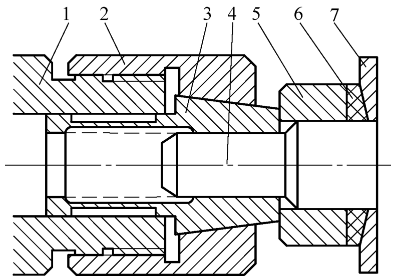


图 2-87　防止薄形工件变形的装夹方法

1—轴套　2—压帽　3—弹簧套　4—心轴
5—垫　6—厚呢布　7—工件

为了保证加工效果，车削时可选用大主偏角的车刀（图 2-88），以使分布在工件上的进给力和背向力越小越好。

图 2-89 所示是在车床上加工铜瓦工件端面时的装夹情况。将铜瓦工件安装在单动卡盘上，调整卡爪的位置，使工件外圆柱面贴紧在四个卡爪上，并使用顶尖通过顶块将工件内表面压住，进行找正后即可车削端面。采用该装夹方法不仅简便，更防止了工件加工中产生变形。

图 2-90 所示是一个端盖工件，需要加工端面等处，由于壁薄容易变形，装夹比较困难。

图 2-91 所示为加工端盖工件时使用的夹具，将其固定在单动卡盘的卡爪 6 上（每个卡爪上固定一个），将卡爪向中心移动，可将工件夹紧。夹紧时，卡板 2 两

端与工件接触，它本身又可以绕销轴 7 摆动，这时，工件要受到 4 个卡爪上 8 个卡紧点的均衡作用，工件与卡板 2 的接触面积增加，因此在承受相同切削力的情况下，工件平均受力比原来要小，从而减小了工件变形的可能性。

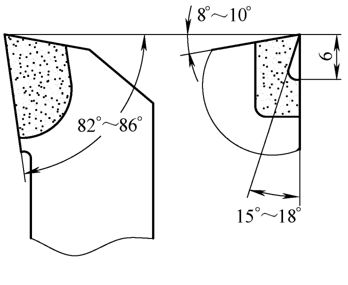


图 2-88　车削薄板工件使用的车刀

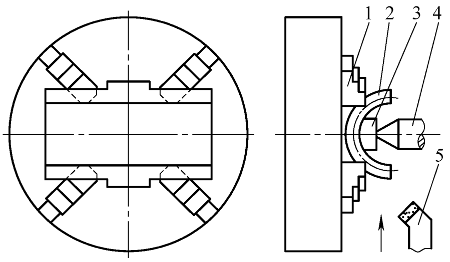


图 2-89　车削铜瓦工件端面时的装夹

1—卡爪　2—铜瓦工件　3—顶块　4—顶尖　5—平刀

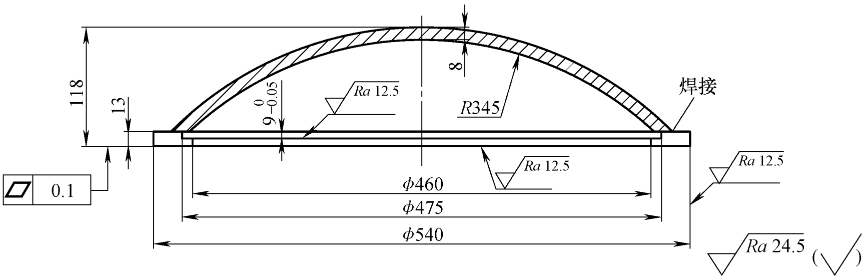


图 2-90　端盖工件

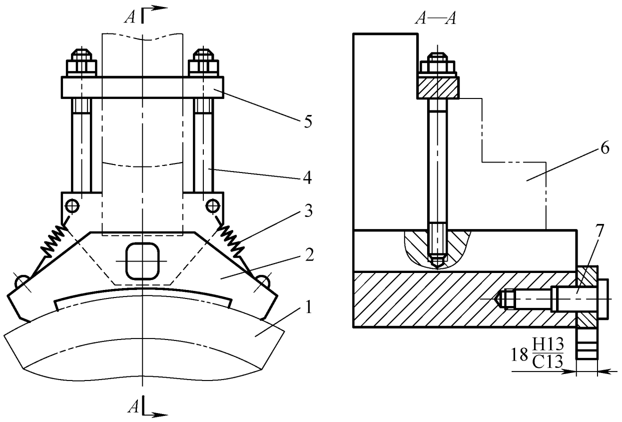


图 2-91　端盖工件装夹

1—端盖工件　2—卡板　3—弹簧　4—螺栓　5—压板　6—卡爪　7—销轴

（3）车削异形工件时的装夹　图 2-92 所示是车削角钢工件端面时的装夹情况。将两个角铁工件对准，包在圆柱心轴上，在外面扣一套钢板夹，拧动螺栓即可将角钢工件夹紧。车削时，将其安装在车床前后两顶尖之间或采用一夹一顶的方法。采

用这样的装夹形式车削角钢两端面非常方便。

图 2-93 所示是车削斜端面时使用弹性夹具安装工件的情况。夹具上有个斜孔，由于斜孔的角度与端面所要求的斜度相同，所以工件插进孔内后，不用进行找正并可直接夹紧，将斜端面车削出来。该夹具在单动卡盘上要按照图 2-93 所示的位置安放。制作该夹具时要注意进行热处理，使其弹性块能保持一定的弹性。

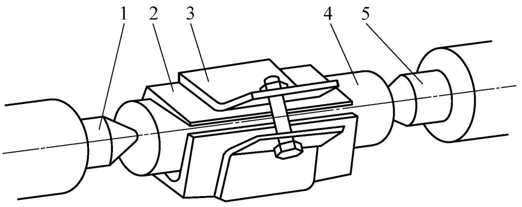


图 2-92　车削角钢工件的端面

1—顶尖　2—角钢工件　3—钢板夹

4—圆柱心轴　5—尾座顶尖

图 2-94 所示的装夹方法与图 2-93 相似。夹具体安装在自定心卡盘内，将工件插入夹具体的斜孔中，拧紧螺杆 3 将工件固定，即可以车削斜端面了。

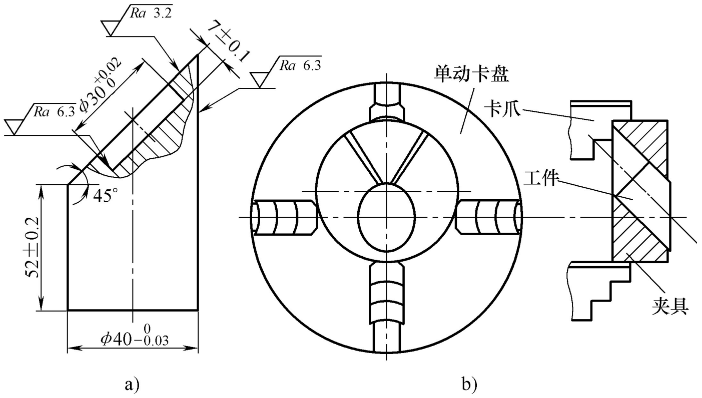


图 2-93　车削斜端面夹具（一）

a）带斜面工件　b）装夹情况

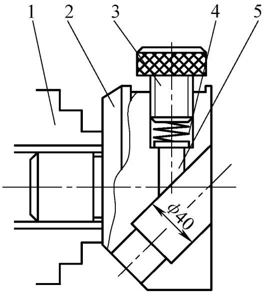


图 2-94　车削斜端面夹具（二）

1—自定心卡盘　2—夹具体

3—螺杆　4—弹簧　5—定位销

（4）车端面时提高效率的装夹　加工端面时，为了提高装夹效率，常采用多件装夹法和不停机快装夹具。

1）多件装夹法。图 2-95 所示是车端面时在自定心卡盘上一次装夹三个工件的情况。在车削时，三个工件的回转中心是空的，从而还避免了端面中间留下小凸台的弊病。

2）使用不停机快装夹具。工件如图 2-96a 所示，需要车削其端面。图 2-96b 所示为该工件车削时的装夹情况，定位心轴 2 装入车床主轴 1 的锥孔内，将装工件轴 4 装在回转夹头 6 内，当工件被顶紧到旋转的定位心轴 2 的端面上时，工件 3 也随之旋转，即可车削端面。车削完毕后，不需要停机，只需使尾座上的套筒退后，工件便自动掉下，然后将待车削的下一个工件套在装工件轴 4 上即可继续加工。

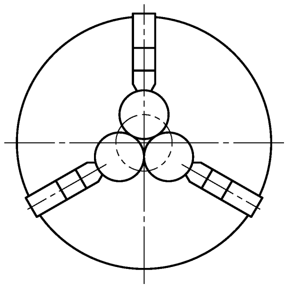


图 2-95　车端面多件装夹法

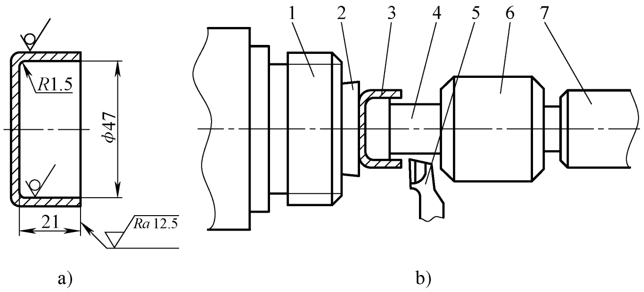


图 2-96　利用不停机快装夹具车端面

a）工件　b）装夹情况

1—车床主轴　2—定位心轴　3—工件　4—装工件轴

5—车刀　6—回转夹头　7—尾座套筒

3. 车端面时的质量缺陷及其分析

（1）端面出现内凹或外凸　端面车出后，当用钢直尺进行检查时，发现有图 2-97 所示的凹心现象，产生这种缺陷的主要原因是在车削过程中，从外向中心进给时，溜板上的固定螺钉（图 2-98）没有旋紧，使车刀渐渐扎入工件内，如图 2-99所示。

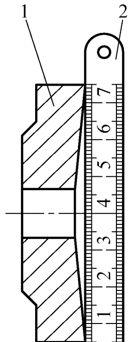


图 2-97　车出的端面呈凹心状

1—工件　2—钢直尺

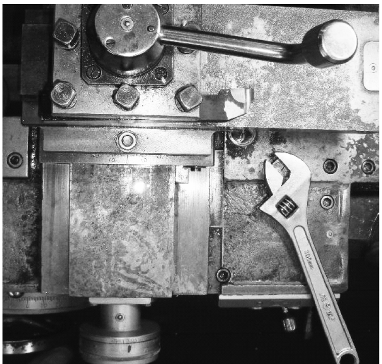


图 2-98　溜板上的固定螺钉

工件端面出现凹心的另一个原因是车床中滑板进给方向与主轴回转中心线间的夹角 β>90°（中滑板导轨逆时针方向偏斜）。

若中滑板进给方向与主轴回转中心线间的夹角 β<90°（中滑板导轨顺时针方向倾斜），则车出的端面会出现凸心现象，如图 2-100 所示。

另外，车刀切削刃不锋利、小滑板太松或车刀在刀架上没有压紧等都会致使车刀在加工过程中受切削力的作用下让刀，而出现凸心现象。

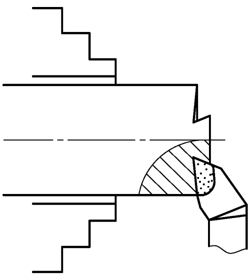


图 2-99　车刀刀尖扎入工件

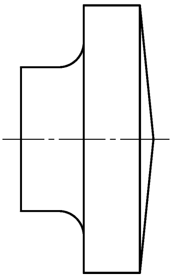
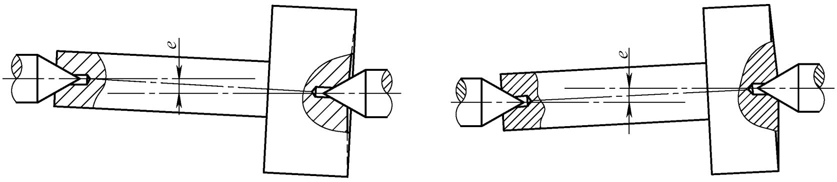


图 2-100　车出的端面呈凸心状

利用前后两顶尖装夹工件车端面时，若后顶尖中心线与前顶尖中心偏离，则车出的端面也会产生凹心或凸心，如图 2-101 所示。



a)　　b)

图 2-101　前后顶尖互相偏离对车端面的影响

a）端面出现凹心　b）端面出现凸心

精确检测端面平面度误差时可使用百分表。如图 2-102 所示，将带磁性表座的百分表吸附在中滑板上，使百分表的测量杆与被测端面垂直，百分表测头与车床主轴的轴线等高，横向移动中滑板，在工件端面的全直径范围内（不应只在半径范围内）进行检测。百分表的最大读数差就是该端面平面度误差。采用该方法时，要注意防止和消除中滑板横向移动对主轴轴线出现的垂直度误差的影响。

（2）越接近端面中心，被切削表面越粗糙　车端面时，通过中滑板横向进给，车刀按一定大小的进给量向前送进，这时刀尖在端面上走出的路径不是一个圆，而是一条阿基米德螺旋线，因此，实际切削过程中所形成的切削平面与理论上的切削平面并不重合，它们之间相交成一个角度 ω，这时，引起车刀几何角度的变化为：切削时的实际后角 $\alpha_{o实}=\alpha_o-\omega$（$\alpha_o$为车刀后角）；而切削时的实际前角 $\gamma_{o实}=\gamma_o+\omega$（$\gamma_o$为车刀前角）。

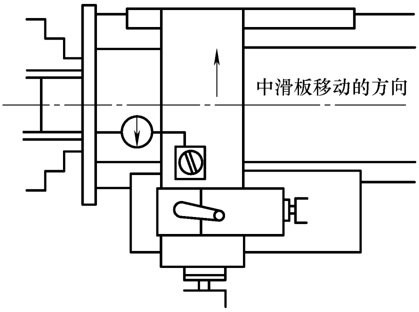


图 2-102　精确检测端面平面度误差

并且，车刀越靠近工件中心，螺旋线越倾斜，弯曲半径越小，切削时的实际后角$\alpha_{o实}$变化越大，所以，车刀后面与已加工表面的摩擦大，使表面粗糙度值变大。

鉴于以上情况，在磨刀时，可适当加大车刀的后角，以抵消车削过程中后角变化对工件表面的影响，与此同时，车削时实际前角的变大对车端面反倒有利，因为前角增大了，切削起来更省力。

车端面中车刀越接近中心，被切削直径越小，在主轴转速不变的情况下，切削速度越低。这时，随着车刀由外向里的径向进给，而切削速度的逐渐降低，增大了被加工表面的表面粗糙度值。

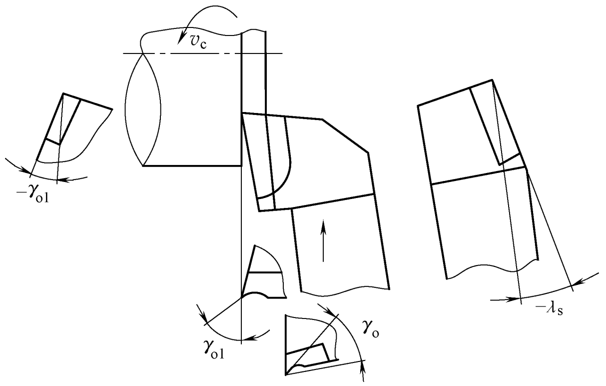


图 2-103　90°偏刀由外向里进给车端面

另外使用90°偏刀由外向里进给车端面时，实际上是副切削刃在切削，如图 2-103 所示；当90°偏刀上主切削刃处的前角和刃倾角为正值，而采用图 2-103 所示由端面圆周向中心方向进给时，前角和刃倾角却都是在负值下进行切削，显然，车出的端面不会光洁，并且越接近中心越粗糙，加工效率也会受到影响。

2.2.3　切断工件

1. 切断工作中使用的新型切断刀

切断刀的基本形式如图 2-104 所示。切削低碳钢一类软质工件时，前角取20°～30°，切断铸铁和中碳钢一类较硬工件时，前角一般取 0°～10°。

大批量加工中为了提高效率，或对特种材料进行切断时，常对切断刀的结构形式进行改进。

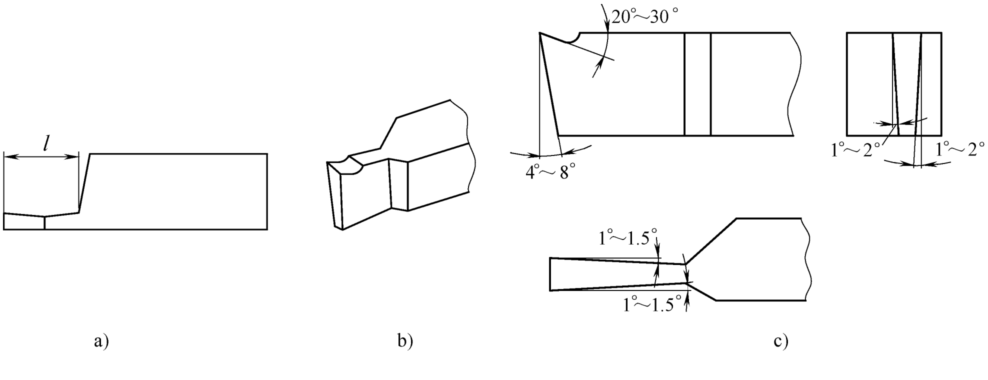


图 2-104　切断刀的基本形式

a）硬质合金切断刀　b）高速钢切断刀　c）主要角度

（1）强力切断刀

1）人字形高速强力切断刀　图 2-105 所示为人字形高速强力切断刀，适用于淬硬工件的切断加工。硬质合金刀片焊接在刀杆上，刀头几何参数见表 2-6。

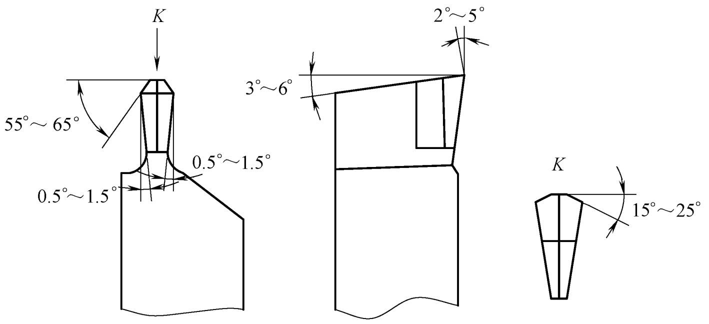


图 2-105　人字形高速强力切断刀

表 2-6　人字形高速强力切断刀几何参数

名　称	几何参数	名　称	几何参数
刀尖角	50°～70°	刀尖圆弧半径	0.5～1mm
前角	2°～5°	副偏角	0.5°～1.5°
刃倾角	2°～5°	主后角	3°～6°
负刃倾角	−25°～−15°	副后角	4°～8°
鱼背角	−130°～150°		

人字形高速强力切断刀增加了散热面积，改善了散热条件，从而散发了集中在刀尖上的切削热，并且切屑沿两副前面流出，有利于排屑。

该切断刀可提高切削效率，切削速度 v_c 达 160～250m/min，进给量可达 0.3～0.45mm/r。它解决了刀具的锋锐与强固的矛盾，由于刀尖角为 50°～70°，并带小尺寸圆弧，可利用副切削刃和主切削刃先后切削来分散切削力，且尖角形刀尖和主、副切削刃构成了切削刃的锋锐，负刃倾角可使刀具强固。

图 2-106 所示是大刀尖角人字形切断刀，其前角 $\gamma_o=5°$，后角 $\alpha_o=\alpha_1=6°\sim8°$，刀尖角 $\varepsilon=120°\sim140°$的对称角度。这种大刀尖角可以保证切屑顺利离开已加工的表面，并且向车刀中心折断而飞出。

用这种车刀加工 45 钢时，采用 YT15 硬质合金刀片，切削速度 $v_c=300$m/min，进给量 $f=0.3$mm/r 以上。使用时，应把握好以下几点：

① 刃磨时要保证刀尖角对称，以免偏侧受力不均匀，使车刀切削中产生偏移而影响加工质量。

② 断屑台 a、b 的尺寸根据进给量的大小来决定，进给量大，b 也大；加工 45 钢，$v_c=132$m/min，$f=0.3$mm/r，$a=1\sim1.5$mm，$b=4$mm，断屑情况良好。

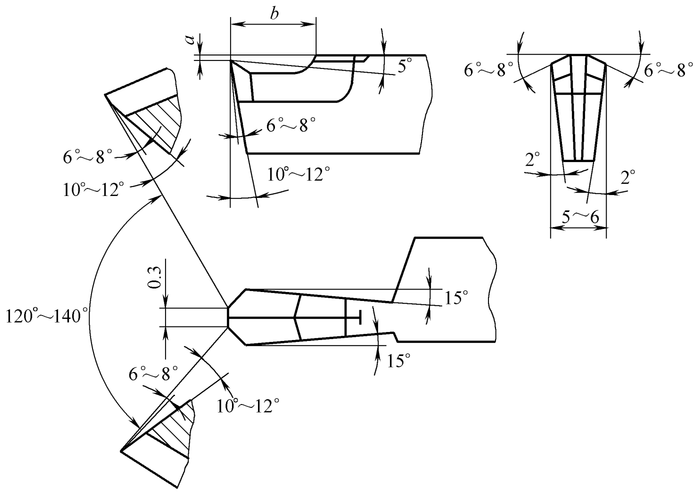


图 2-106　大刀尖角人字形切断刀

③ 切削速度大，断屑容易（但切削到工件心部可能不断屑）；进给量过小容易发生振动，所以进给量还是选择稍大些。因此，要求车床和工件有足够的刚性。

④ 安装该车刀时，刀尖要高于工件中心 1mm 左右。

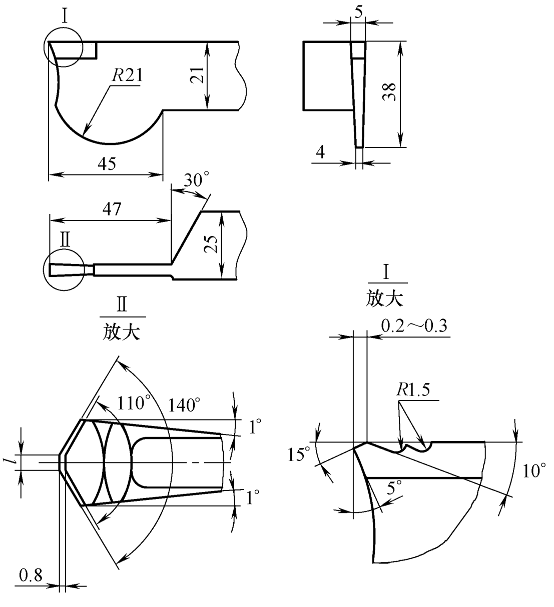


图 2-107　双凹槽人字形切断刀

图 2-107 所示为双凹槽人字形切断刀，它采用双凹槽，主切削刃前面有五段折线，均为负倒棱形式（-15°×0.2mm），加长了有效切削刃长度，提高了刀尖的强度。它的前面为双卷屑槽曲面形，前槽的主要作用是增大前角，后槽起卷屑作用，后面按 110°和 140°双重刃磨。

使用中采用的主轴转速 $n=1200\text{r/min}$，进给量 $f=0.4\sim0.5\text{mm/r}$，切断宽度为 5mm。适合在 CA6140 型卧式车床上使用。

2）凸台切削刃强力切断刀。如图 2-108 所示，这种车刀在主切削刃中间有刃宽为刀头宽度的 1/3、高为 0.5~1mm 的凸台部分，它在切削加工时能缩小切屑宽

度，使切屑顺利排出，并且在接近工件切断时，可减少冲击及切削力，故不易打刀，提高了车刀寿命。它采用前角为10°的圆弧形前刀面，可减小切屑变形，使切削轻快。

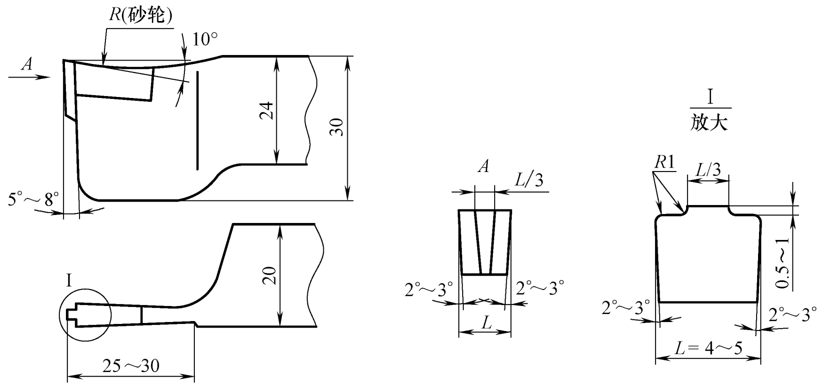


图 2-108　凸台式切断刀

切断时采用的车削用量为：切削速度 $v_c=50m/min$，进给量 $f=0.2\sim0.4mm/r$。

3）机夹强力切断刀。该切断刀是根据杠杆原理将刀头夹紧的。如图 2-109 所示，拧紧顶丝 8 使杠杆 3 绕销轴 4 转动，压紧硬质合金刀头 1。当切削刃磨损或损坏需要更换刀头时，松开顶丝 8，取下刀头 1，经修磨后，通过调整丝杠 9 和止动螺母 7 使刀板 6 向前移动，放好刀头 1 并压紧后再刃磨几何角度，即继续使用。

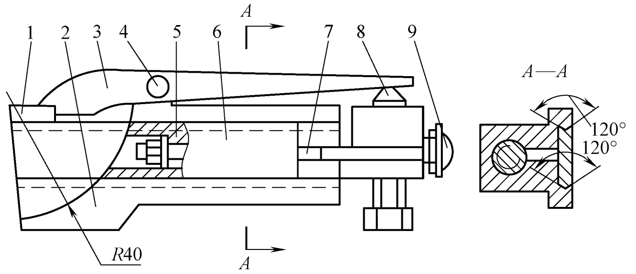


图 2-109　机夹强力切断刀

1—刀头　2—刀体　3—杠杆　4—销轴　5—螺母　6—刀板　7—止动螺母　8—顶丝　9—丝杠

切削过程中，为了防止刀头 1 和刀板 6 在切削力的作用下产生振动或弯曲，因而在刀板下面设计了 $R40mm$ 的加强肋，增加了刀体强度。由于杠杆 3 前部的挡屑作用，切屑从与操作者相反的方向排出并断裂。

切断刀刀头的几何形状如图 2-110 所示。前角取 0°，主切削刃磨有 $0.2\times(-3°\sim-5°)$ 的副倒棱，增加了切削刃强度。后角 α_o 取 5°，刀尖角磨成 130°夹角，副偏角 κ'_r 取 1°～1.5°，可减小副切削刃与工件两侧面的摩擦，避免夹刀。副后角 α'_o 取 1.5°，以减小副后面与工件的摩擦。此外，刀头刃磨后，将底部磨成 120°，放在座板的 120°槽

内，旋紧顶丝使杠杆压紧刀头。

（2）装配式切断刀

1）刀夹式切断刀。刀夹式切断刀如图 2-111 所示，刀夹和切断刀均为 45 钢，在刀夹上开切口槽，侧面做成 45°燕尾槽。当拧紧刀架螺钉时，刀夹就卡紧了。在切断刀刀头部焊有硬质合金刀头。这种刀具可切制不同直径的棒料，其切口较窄，而且可提高加工效率。该切断刀的刀夹也可夹持相同高度和厚度的高速钢切断刀片。

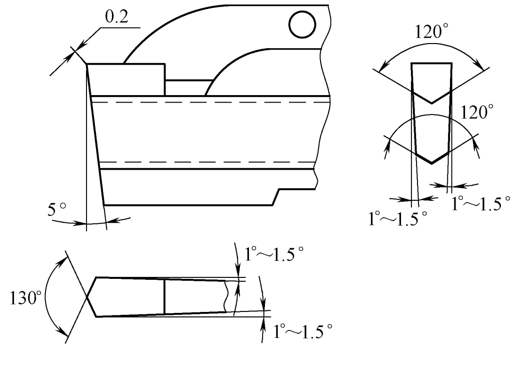


图 2-110　机夹强力切断刀刀头形状

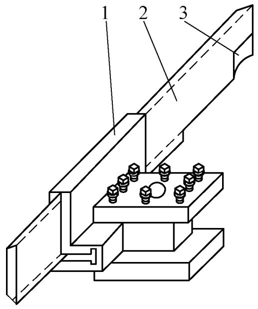


图 2-111　刀夹式切断刀（一）
1—刀夹　2—切断刀　3—刀片

图 2-112 所示是刀夹式切断刀的又一种结构形式。刀夹带有弹性，可使用 65Mn 钢制造，淬硬至 50HRC。将硬质合金刀片焊在切断刀的上下两端，刃磨后插入弹性刀夹的槽中。拧紧刀架上的两只螺钉，使弹性刀夹将切断刀夹紧。

图 2-113 所示的刀夹式切断刀是将切断刀做成上下带角度的菱形，卡在刀夹内，这样，提高了切削中的稳定性。

以上几种刀夹形式不适合切割较大尺寸的工件，否则，容易引起刀夹变形或切削不稳定。

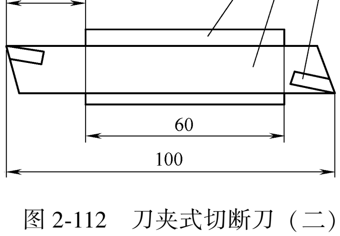


图 2-112　刀夹式切断刀（二）
1—刀夹　2—切断刀　3—刀片

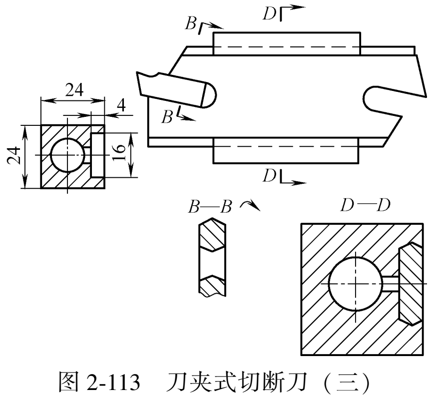


图 2-113　刀夹式切断刀（三）

图 2-114 所示的刀夹可避免这种不良情况，它由形状完全相同的上刀夹体和下刀夹体组成，上下两刀夹体沿其斜面配合，便形成了一个长方形的通孔，用螺钉压紧时，这两个刀夹体就向一起合拢，并夹紧装在里面的刀具。刀夹体内的刀具是沿垂直面夹紧的，这就可利用刀夹体来夹紧任意厚度的切断刀或多个车刀片。

2）螺钉锁紧式切断刀。如图 2-115 所示，切断刀从刀夹槽中穿过（两者配合间隙一般应小于 0.1mm），通过三个内六角螺钉将切断刀紧固。将切断刀安装在刀架上即可进行切断工作。

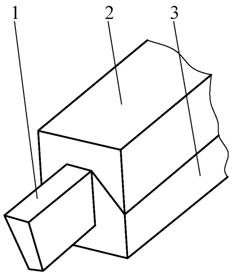


图 2-114　上下两刀夹体组成的切断刀

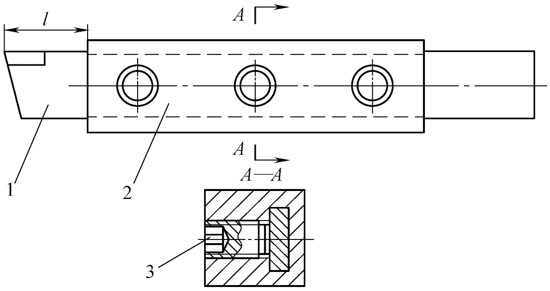


图 2-115　螺钉锁紧式切断刀

1—切断刀　2—刀夹　3—内六角螺钉

图 2-116 所示为又一种形式的螺钉锁紧式切断刀，该切断刀的工作原理和使用方法都与前面相同。它在刀架上所受的力矩较小，所以在加工中能承受较大的冲击载荷。

图 2-116 所示切断刀适用于切断直径小于 60mm 的工件，当工件直径为 60～120mm 时，可使用图 2-117 所示的反向切断刀。

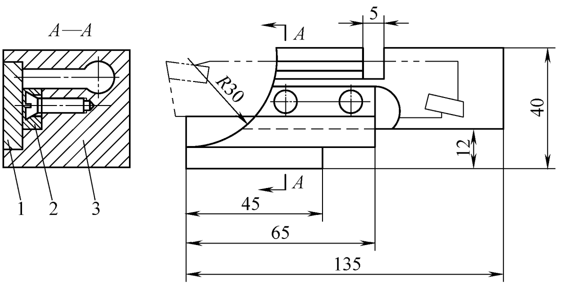


图 2-116　螺钉锁紧式反向切断刀

1—切断刀　2—刀垫　3—刀杆

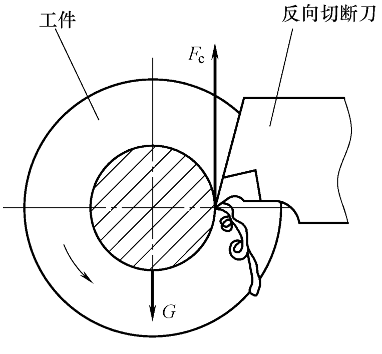


图 2-117　主轴反转切断工件

在切断时，将其刀尖朝下，主轴反转，可获得很好的加工效果。

3）机夹式切断刀。由于焊接结构切断刀的刀头既长又窄，刀片支承面积小，

散热条件差等，因而刀头弹性大、刚性差，这在切削过程中难于避免产生振动、打刀式脱焊等现象，再加上焊后的刀具有时未经保温消除应力的工序处理，加工中刀片龟裂现象不可避免，机夹式切断刀就是针对这些不足而出现的。

机夹式切断刀如图 2-118 所示，由刀体、弹性压板、切断刀、刀片和螺钉组成。其结构形式多种多样，如图 2-119 所示。

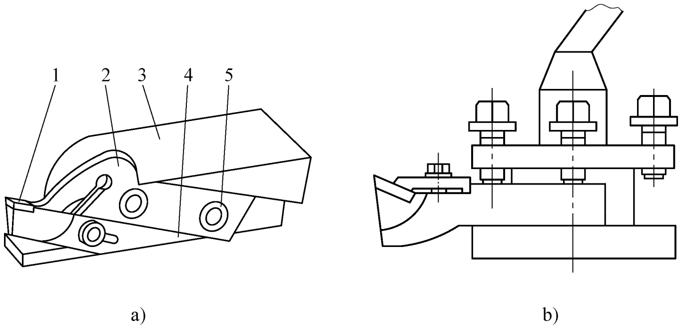


图 2-118　机夹式切断刀

a）外形和组成　b）在刀架上安装

1—刀片　2—弹性压板　3—刀体　4—切断刀　5—螺钉

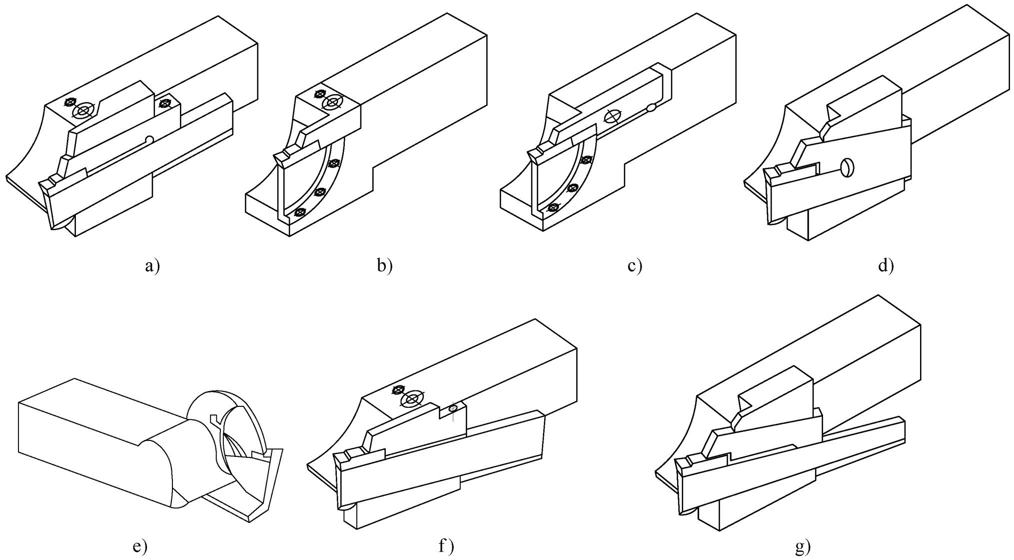


图 2-119　不同结构的机夹式切断刀

a）、b）上压板夹紧式　c）杠杆夹紧式　d）弹性槽夹紧式　e）楔块夹紧式　f）、g）自紧力夹紧式

切断刀在工作时，作用在切削刃上的主要有两个力，即切削力 F_c 和背向力 F_p，如图 2-120 所示，它们的合力 F 是切削阻力，一般 $F_p=(0.3\sim0.5)F_p$，因此切断刀

工作时，切削刃上所受到的切削阻力方向通常是在与切削平面成 17°～27°的范围内，即图中所示的 φ 角。一般切断刀工作时，切削刃上切削阻力方向总能保持在 $\alpha<\varphi<\delta$ 的条件下，将刀片推向刀体，不存在使刀片发生向上或向下翻动的倾向，这就给机夹式切断刀的制作提供了有利条件，因此，该切断刀的刀垫片做成与水平面成 15°～17°方向安置，这个角度也是切断刀较通用的工作前角。这样可使刀片的前面刃磨更为方便，也能避免采用平置刀垫片时在刀片前角磨制后，会减小刀片截面面积的弊病。

实际操作中所遇到的情况往往很复杂，如切断刀刚切入工件的瞬间，被切工件切口刚度的逐渐减弱、切削速度逐渐由高到低的变化、刀具装夹高度误差而引起实际工作后角和前角的变化、切屑收缩系数逐渐增大等，所以，设计该刀具时要充分考虑刀片在整个刀体构件上的相对稳固性，同时，要注意保证各组件的精度和装配精度。

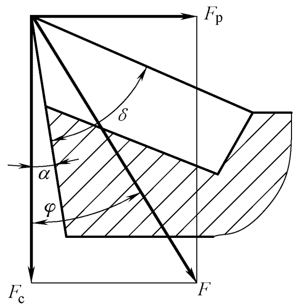


图 2-120　机夹式切断刀夹紧原理

4）滚割切断刀。滚割切断刀如图 2-121 所示，主要用于薄壁管件的切断工作。割轮用 Cr12MoV 或 W18Cr4V 材料制作，淬火硬度分别为 58HRC 和 62HRC。割轮与销轴的配合为 H8/f7，而刀体销孔与销轴的配合为 H7/h6，刀体轮槽内侧与割轮两端间隙在 0.05～0.12mm 之间。滚割切断刀也可用废旧铣刀改制，如图 2-122 所示，先将用钝了的刀齿磨去，然后按其内孔配一轴衬，并有一端面用螺母压紧，便会起到与割轮同样的使用效果。

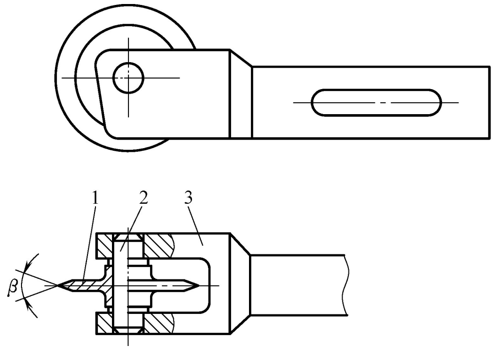


图 2-121　滚割切断刀
1—割轮　2—销轴　3—刀体

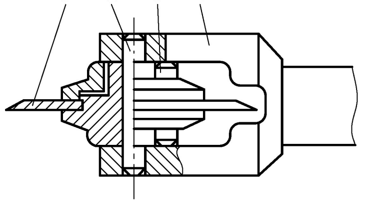


图 2-122　用废旧铣刀改制的滚割切断刀
1—割轮　2—销轴　3—轴衬　4—刀体

使用时，将刀体安装在刀架上，使割轮的径向中心断面与主轴轴线垂直。当薄壁管件旋转（管件转速 v_c 选 18～25m/min），割轮与管件接触时，在一定摩擦力的作用下，割轮也随之转动，从而在逐渐进给中（进给量 f 可选 0.25～0.8mm/r）对管件进行切割。

在相同切削条件下，割轮切削刃的切割作用和割轮侧面的推挤作用将随割轮的楔角 β（图 2-121）的变化而变化。当割轮的楔角较小时，割刀较锋利，而推挤作用则相应减弱。但是，割刀过于锋利会使割轮不耐用，易磨损；反之，割轮楔角 β 趋大，割刀虽然不显得单薄了，但推挤力会增大，切割作用势必相应减小，使切削阻力增加，割轮不易切入工件。因此，对于一般强度和硬度较低而塑性较大的软金属管件，割轮的楔角可取 28°~35°，对于强度和硬度较大的中硬材质的管件，则应适当增大楔角，宜取 36°~42°。楔角的形式应根据管件的工艺要求或需要而定，可为双楔角也可为单楔角（可通过对刀面的修磨来实现）。另外，割轮尖端应磨有适当的圆角，刃口圆角半径 r 一般可在 0.04~0.08mm 之间选取。

使用该滚割切断刀切断较长尺寸的管件时，应在适当位置处安装中心架支承，以免工件线速度和离心力较大，导致管件偏离而发生危险。

2. 管件的切断

（1）使用滚割切断刀切断管件　图 2-123 所示为使用滚割切断刀高效低速不停机切断管件的情况，这种方法在大批量加工时比较适用。在车床自定心卡盘上安装心轴 3，滚割切断刀 4 装在心轴 3 上。切断时，车床主轴以 8~10m/min 的速度旋转，操作者用右手将管件 6 向左推，使之与挡铁 1 接触，通过轴承托架 5 进行长度定位后，左手转动中滑板手柄，使中滑板向前移动，并带动安全套筒 7 推动滚割切断刀 4 而形成相对的滚切运动。当滚割切断刀 4 向前移动稍超过管件孔壁时，中滑板的顶端将接触溜板上的限位块 2，从而保证了滚割切断刀 4 与轴承托架 5 上的轴承不碰撞。若反方向转动中滑板手柄，刀架便退回原位，这样不断重复进行实现不停机切断。

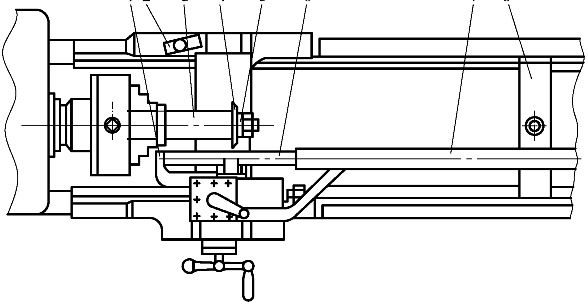


图 2-123　滚割切断刀切断管件
1—挡铁　2—限位块　3—心轴　4—滚割切断刀
5—轴承托架（定距支架）　6—管件　7—安全套筒　8—支架

管端的角度，如焊接坡口及管细螺纹端部的倒角，可以通过刃磨滚割切断刀角度来保证。切断刀可使用旧的锯片铣刀改磨而成。

该切断方法的滚切结构如图2-124 所示。

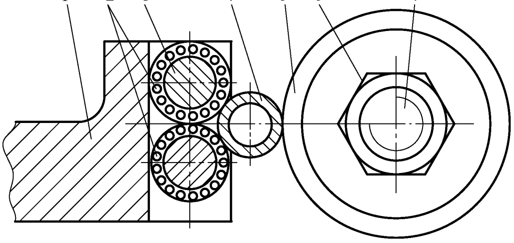


图 2-124　滚切结构示意图
1—托架主体　2—滚针轴承　3—销轴　4—管件
5—滚割切断刀　6—压紧螺母　7—心轴

图 2-125 所示是将该切断装置改为自动切断的情况。将中滑板上与丝杠配合的螺母取下，靠模定位支架 11 上的滚轮借助于拉簧 5 的拉力压向心轴上的凸轮 3。自定心卡盘 2 带动心轴上的凸轮 3 和滚割切断刀 4 旋转，凸轮 3 使中滑板上的刀架 9 产生随动，以实现进刀、退刀的目的，旋转一周就切断一个工件。这种方法只需用左手反复地进行长度定位即可，省去了左手进刀或退刀的动作。

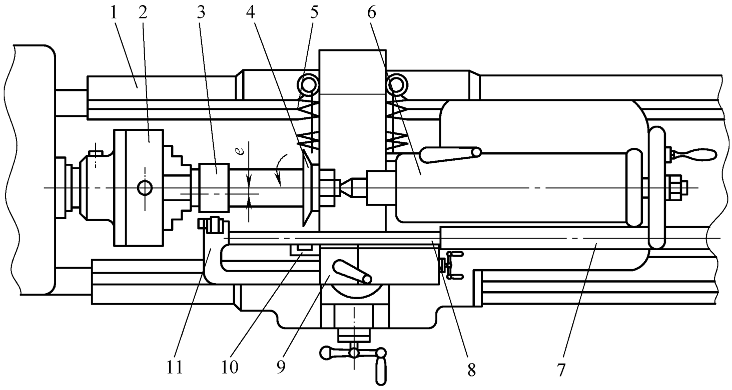


图 2-125　自动切割管件装置

1—床身　2—自定心卡盘　3—凸轮　4—滚割切断刀　5—拉簧　6—尾座
7—安全套管　8—管件　9—刀架　10—轴承托架　11—靠模定位支架

（2）切断大直径棒料　图 2-126 所示的切断刀由双面焊有硬质合金刀片的刀板、弧形架刀杆、夹固螺栓、螺母等组成。刀板装在弧形架刀杆的开口槽内，分别通过螺栓穿入弧形架和刀板上的定位孔，将其紧固后即可使用。刀板厚度可减小到 7mm，并且在刀板的正面和两侧面都要磨出后角 α_o（6°～8°）。由于在刀板的两面焊有刀片，所以，用钝一面后可换到另一面继续切割。

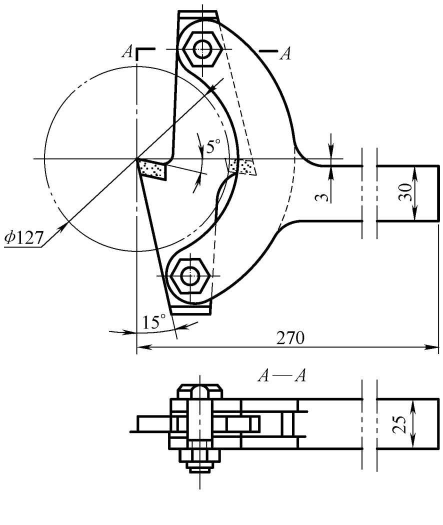


图 2-126　大直径工件切断刀

这种大直径工件切断刀在切削中的刚性好，可抗振，能切到工件的轴线位置，并且，切割刃口较窄，材料损耗少。

切断大直径工件时，若使用图 2-127a 所示的普通结构的高速钢车刀，由于其切断刀伸出较长，力矩大，刀具和刀架的刚性差，所以容易引起振动或刀具变形，造成加工不稳定。为了改变加工条件，可按图 2-127b 所示的方法在车刀下面加上 1～2

个支承，支承的大小根据车刀宽度而定。由于被切削工件直径较大，所以，切断车刀也应比较宽。

安装这种车刀时，刀尖要与工件中心等高，车刀伸出越短越好。

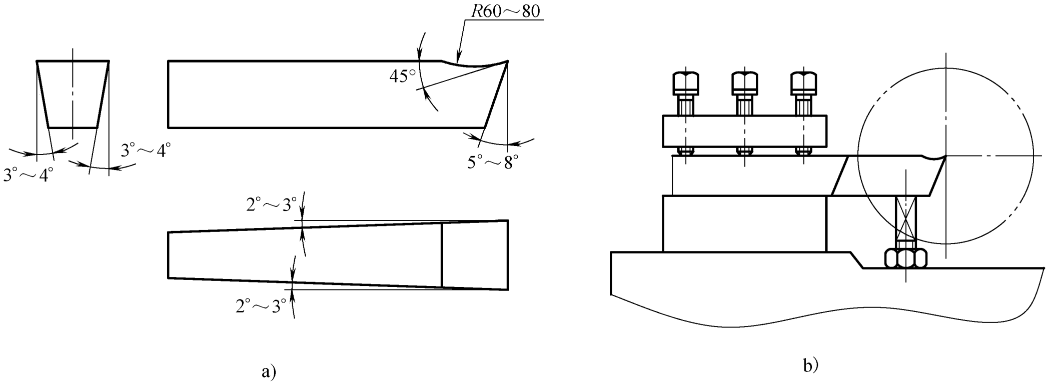


图 2-127　高速钢车刀切断大直径工件

a）高速钢车刀　b）车刀下面加支承

（3）管件切断封口方法　把管件切断再把口封住，是车床加工中的一个特殊工艺，它有以下两种加工形式。

1）切断和封口同时进行。其操作方法如下：

① 封口车刀及其车削用量。切断封口车刀材料为高速钢W18Cr4V，其几何形状如图 2-128 所示，它由一直线切削刃和一曲线切削刃组成，直线切削刃担任切断工作，曲线切削刃在切断的同时，还能完成封口工作。

切断和封口的切削用量为：主轴转速 $n = 600\text{r/min}$ 以上；进给量 $f = 0.5\text{mm/r}$。

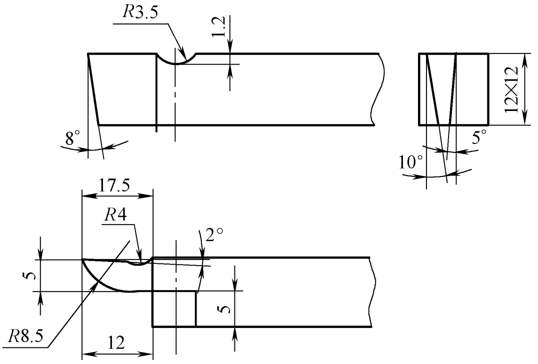


图 2-128　切断和封口车刀

② 铜管切断封口操作方法。铜管切断和封口如图 2-129 所示，图 2-129a 所示的是切断快完成时的情况，图 2-129b所示是封口快完成时的情况。由于曲线切削刃的后角很小（$\alpha_o = 2°$），在高的转速下，车刀后面与工件端面摩擦而产生高温，会使纯铜管接近软化。所以，当右端已封口的工件切下，车刀继续横向进给时，就逐渐将剩下的锥形部分挤入孔内，完成封口工作。只要转速和进给量选择适当，封口的厚度会很均匀，并可达到技术要求。

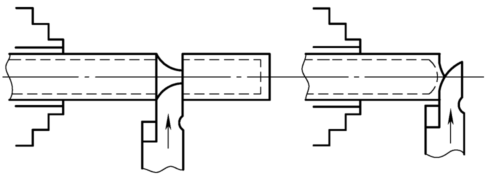


图 2-129　铜管切断和封口
a）切断快完成　b）封口快完成

这种办法能将两个工序合在一起进行，适于加工直径较小的纯铜管和铝管时使用。

2）切断和封口分开进行。对直径不超过 30mm 的钢管、铜管、铝管进行封口时都可采用这种方法。

图 2-130a 所示是将管件切断后，再将端面车平；图 2-130b 所示是使用封口车刀进行封口的情况。封口时，车床主轴转速可取 1500r/min（封口时，管件转速越高越有利），当封口车刀与管件端面接触后，两者发生激烈的摩擦，产生大量热，摩擦处温度升高会使金属近于熔化状态，这时，借助车刀的压力便可使管口封口；图 2-130c 所示是封口完毕的情况，它的封口厚度不小于管壁厚度。

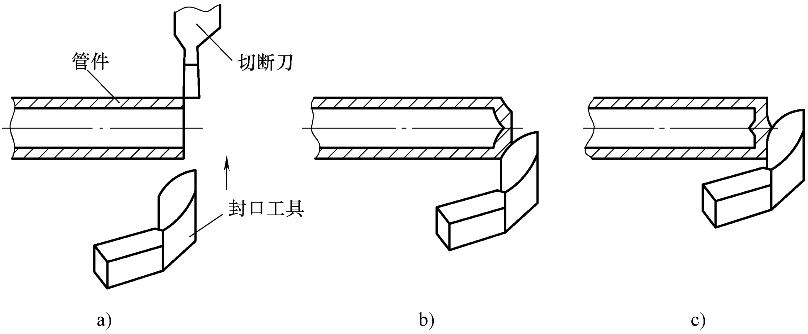


图 2-130　车床上封口加工
a）管件切断后平端面　b）初步封口　c）封口完成

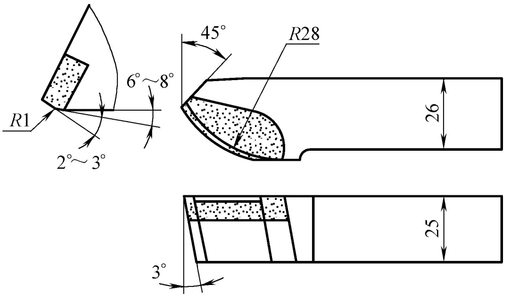


图 2-131　封口车刀

封口车刀如图 2-131 所示，它的刀尖可以车外圆，弧形切削刃部分在封口时使用，其切削刃处的光洁性要好。

这种封口方法，对于直径为 12mm 的管件，在 15～30s 内即可完成封口加工，并且不影响金属强度。被封口工件的管壁不宜太薄，否则会出现密封不严的现象。

3. 控制切断长度的简便方法

在车床上控制切断长度时，一般是用手拿着金属直尺进行测量，这样做既不容易保证长度一致，也很费时间。大批量加工时，可采用以下几种方法去控制长度。

（1）利用金属直尺装置控制切断长度　如图 2-132 所示，用螺钉将金属直尺固

到在支承的一端上，在支承另一端固定一个销杆，将销杆安装在夹头内，夹头插入尾座锥孔中。使金属直尺的伸出长度等于工件的切断长度。当销杆左端接触到工件端面后，使切断刀也对正金属直尺的左端，然后退出尾座上的销杆，切断刀向前进给，将工件截断。

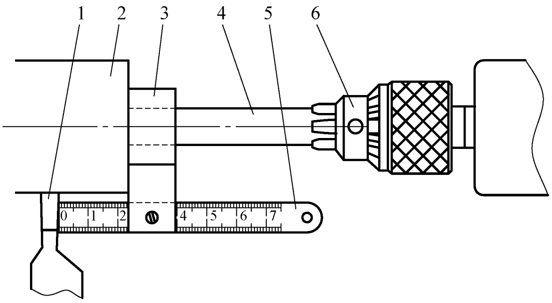


图 2-132　利用金属直尺控制切断长度

1—切刀　2—工件　3—销杆

4—销杆柄　5—钢直尺　6—夹头

（2）利用挡片控制切断长度　如图 2-133 所示，使用刀架上的螺钉将一个厚度为 1~2mm、宽度为 20mm 的铁板挡片压紧。挡片中心对正工件中心，并使切削刃至挡片间距离 A_1 等于被加工工件尺寸 A_2，即 $A_1=A_2$。加工时，先车削尺寸 A_2，当挡片端面与工件端面相接触时，溜板立即停止纵向进给，然后将刀架转过 90°，车削尺寸 A_2，同样，当挡片端面与工件端面接触后，即可进行切断。

（3）利用挡杆控制切断长度　图 2-134 所示是利用挡杆控制切断长度的情况。在刀架上安装一个定位杆，定位杆上再用螺钉紧固一个调整杆，按照切断长度定好调整杆的伸出长度，当调整杆尖端接触工件端面时，即可进行切割。

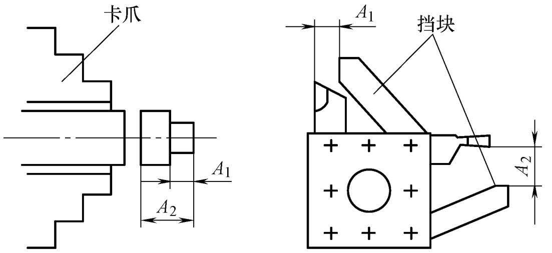


图 2-133　利用挡片控制切断长度

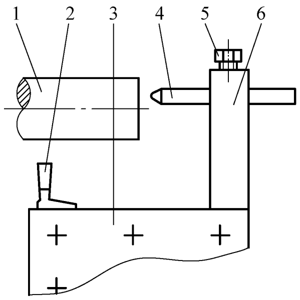


图 2-134　利用挡杆控制切断长度

1—工件　2—切断刀　3—刀架

4—调整杆　5—螺钉　6—定位杆

图 2-135 所示是在调整杆的左端加装上一个滚动轴承，当轴承接触到工件端面时，即可进行切割。

前面介绍的是两种切断短料时的控制装置，若工件从卡盘上伸出的尺寸较长，可使用图 2-136 所示的带支承形式的挡杆装置。在中滑板前端安装一个支架，将支承装在支架内。支承上和工件接触的一端装有滑套，滑套孔跟工件外径是松动配合，工件穿进孔中可灵活转动。这样，通过调整杆定好被切割长度后，每切割一

段，支承向左移动一段距离，即可切第二段，非常方便。

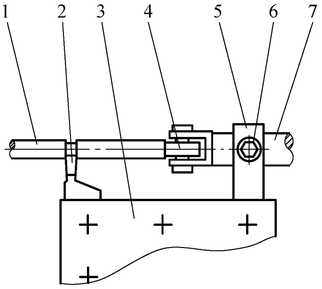


图 2-135　利用轴承式挡杆控制切断长度

1—工件　2—切断刀　3—刀架

4—轴承　5—定位杆　6—螺钉　7—调整杆

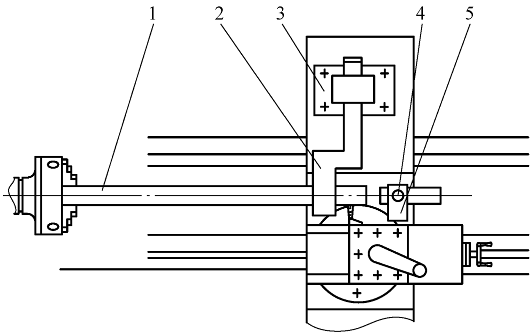


图 2-136　切断长料时的控制长度装置

1—工件　2—支承　3—支架　4—螺钉　5—调整杆

2.3　孔的车削

车床上车削普通孔类工件如图 2-137 所示。

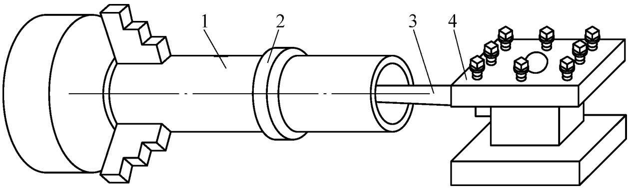


图 2-137　车床上车削普通孔类工件

1—防振圈　2—工件　3—车孔刀杆　4—刀架

2.3.1　车孔刀

由于车孔条件和工件材料的不同，所选择车孔刀的几何角度也有所不同。

图 2-138 所示为车削淬火钢（硬度为 55～60HRC）内孔时使用的车孔刀，图 2-138a所示为粗车孔刀，图 2-138b 所示为精车孔刀。刀片材料为 YT30 硬质合金，刀杆材料是 45 优质碳素钢，淬火硬度为 35～45HRC。精车孔刀切削刃处表面粗糙度 Ra 值为 0.4μm。车小孔时，若刀杆底面与内孔面接触摩擦，可将刀杆底部磨成 R 状圆形，如图 2-139 所示。

所采用车削用量如下。由于被车削工件是淬火钢材料，所以切削速度 v_c 应低些。粗车时，v_c = 8～12m/min；精镗时，v_c = 12～16m/min。粗车时，f = 0.1～0.15mm/r；精车时，f = 0.05～0.1mm/r。粗车时，背吃刀量 a_p 不超过 0.05mm。不

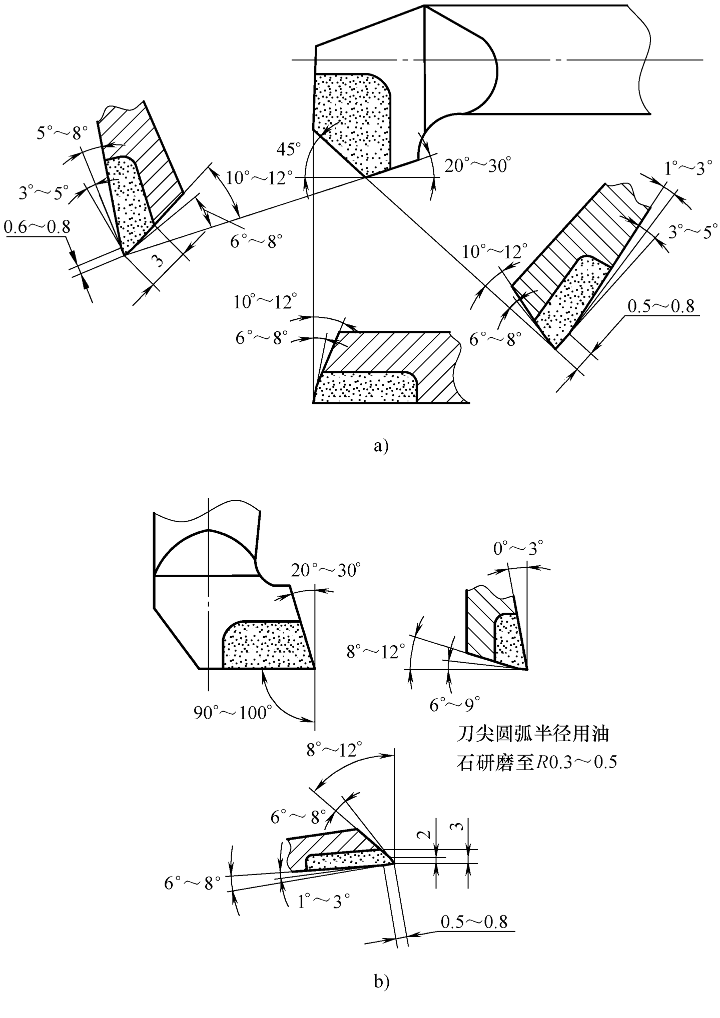


图 2-138　淬火钢车孔刀

a）粗车孔刀　b）精车孔刀

使用切削液。

图 2-142 所示为机夹式薄壁管车孔刀，它的前角 $\gamma_o = 15°$，主偏角 $\kappa_r = 75°$，断屑槽宽 2mm，前刀面表面粗糙度 Ra 值<0.8μm，车孔时，切削轻快，切屑呈银白色。所选择车削用量为：切削速度 $v_c = 80\text{m/min}$，进给量 $f = 0.1\text{mm/r}$。

高速车削铸件孔用的车孔刀几何形状如图 2-141所示，它用 YG 类硬质合金刀片。切削刃由

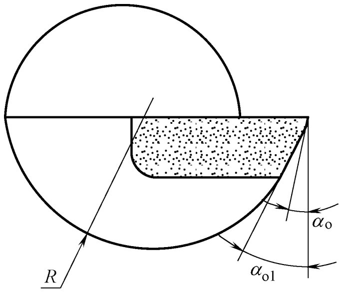


图 2-139　刀杆底部磨圆弧状

长为 4mm 的主切削刃和长为 1mm 的中间刃以及宽为 1.2f（f 为进给量）的修光刃组成。主切削刃用来粗加工，中间刃用来半精加工，修光刃用来修光已车过的内孔表面。

这种车孔刀的前角 $\gamma_o = 10°$，后角 $\alpha_o = 8°$，但修光刃的后角仅为 1°，车孔中若和孔壁摩擦，可将车刀底面磨圆。所采用车削用量为：切削速度 $v_c = 200m/min$，进给量 $f = 0.5mm/r$。

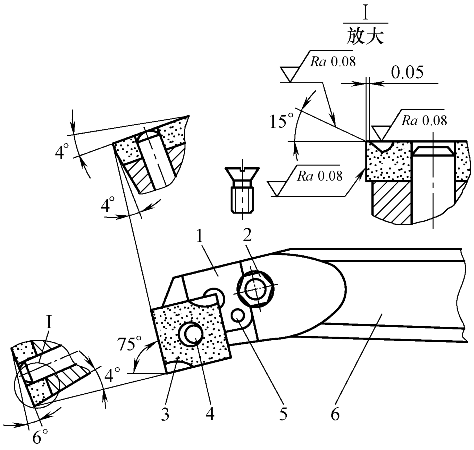


图 2-140 机夹式薄壁管车孔刀

1—刀片压紧块 2—压紧螺钉 3—刀片

4—圆柱销 5—支点销 6—刀柄

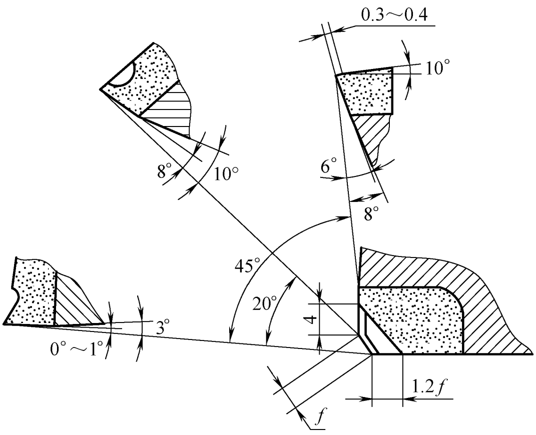


图 2-141 高速车削铸件孔用的车孔刀

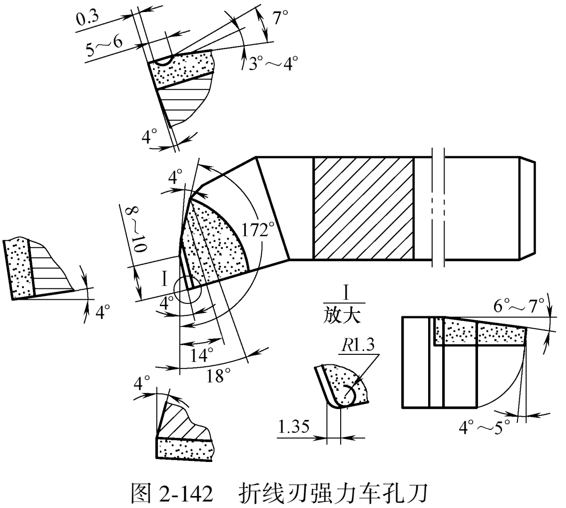


图 2-142 折线刃强力车孔刀

图 2-142 所示为折线刃强力车孔刀，它采用 YT15 硬质合金刀片。使用这种车孔刀在 CA6140 型卧式车床和中型车床上车削钢件直径为 60～150mm 的短粗内孔时效果很好。

这种车孔刀采用不等前角，主切削刃呈折线形，车孔中左右两刃受力，使切削力适当平衡和抵消，减小了径向切削分力，切削趋于平稳。主切削刃与断屑台和排屑斜面分别形成夹角，排屑情况好，并使整屑自然断屑。主偏角为双主偏角，同时角度较大，它比一般车孔刀增加了一个 172°的刀顶楔角，并磨有负倒棱和刀尖圆弧，提高了刀具强度，延长了使用寿

命。刀杆材料为45优质碳素钢，由于是强力车孔刀，刀杆尺寸应适当大些，以增强刚性，减小振动。

所采用车削用量为：切削速度 $v_c = 140 \sim 150\text{m/min}$；背吃刀量 $a_p = 12 \sim 15\text{mm}$；进给量 $f = 0.3 \sim 0.5\text{mm/r}$。

安装时，该车孔刀应比工件中心高1.5~2mm。

大批量加工时，为了提高效率和保证车孔质量，还可采用图2-143所示的车孔刀。这是一种高效车孔刀，当加工余量较大或车削余量不均匀的长孔时，都可以使用这种车孔刀。其结构为刀排式车刀，刀头为双刃，在刀头后部等分焊接四个合金支承块，合金支承块外径较刀头车孔内孔微小0.04mm左右。加工时，将刀杆装夹在刀架上，并使刀杆轴心对正轴回转中心。车孔时，双刃刀头首先切入，随即用合金支承块支承住内孔。四个合金支承块外径应稍小于刀头所车出孔径，在车孔过程中合金支承块既起支承作用，保证刀杆的刚性，同时又起刮削作用，提高内孔的圆柱度，降低孔的表面粗糙度值。

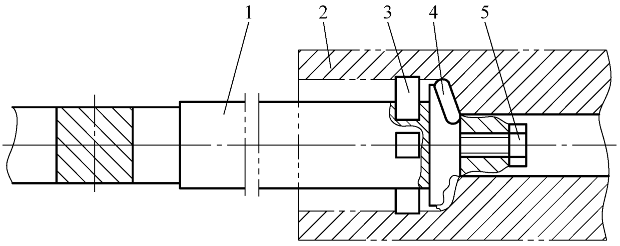


图2-143　双刃高效能车孔刀

1—刀杆　2—工件　3—合金支承块　4—双刃车孔刀头　5—紧固螺钉

加工长孔或进行大余量切削时，由于加工余量的增大，会使切屑变宽，这时可在主切削刃的后面上磨出几个分屑槽，以便于排屑，同时也保证了切削液的进入。

该车孔刀切削速度 $v_c = 140\text{m/min}$，进给量 $f = 0.2\text{mm/r}$。对于余量为40mm左右的工件，可一次切削完成。

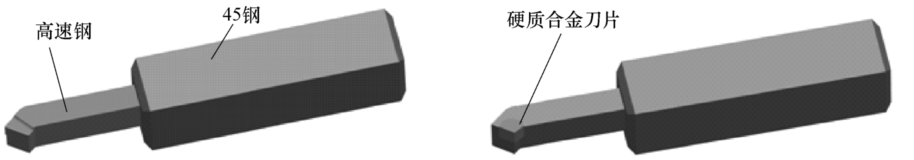
2.3.2　刀杆的结构形式

车刀刀杆结构多种多样，它根据工件情况和加工条件具体确定。下面介绍了10多种车孔刀杆形式，供选用。

1. 普通车孔刀刀杆

（1）刀杆1　如图2-144所示，其用一条带弯头的钢板锻造而成，将硬质合金刀片焊接在刀头处即可使用；或者使用高速钢材料整体锻造成所需要车孔刀形状（而不需要焊接刀头）。

车孔时，利用中滑板手柄处的刻度盘掌握背吃刀量。

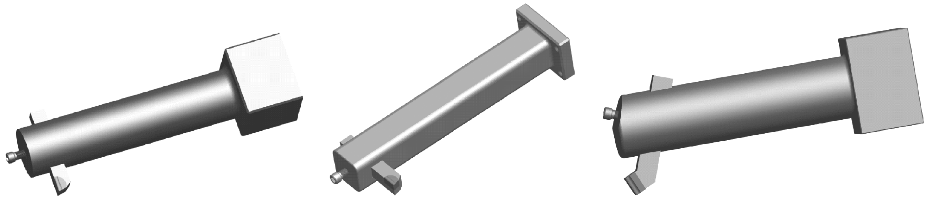


a) b)

图 2-144　普通车孔刀杆 1

a）整体式高速钢车孔刀　b）焊接式车孔刀

（2）刀杆 2　如图 2-145 所示，该车孔刀的刀头和刀杆部分是分体的，松开螺钉即可卸下刀头，刃磨和换刀都很方便。



a) b) c)

图 2-145　普通车孔刀刀杆 2

a）形式Ⅰ　b）形式Ⅱ　c）形式Ⅲ

普通车孔刀刀杆的结构形式最为简单，调节刀头伸出长度时一般采用敲打刀头的方法，然后使用游标卡尺测量刀头伸出长度是否合乎要求（图 2-146），如不合适，就再敲打两下，直至能保证孔径尺寸为止。

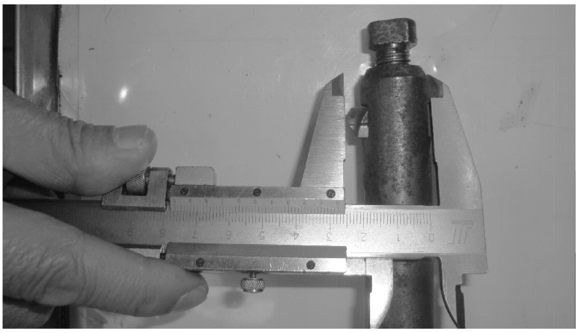


图 2-146　测量刀头伸出距离

2. 车小孔刀刀杆

图 2-147a 所示是车小孔刀刀杆主体，使用时，将车小孔刀（图 2-147c）插入车孔刀刀杆主体的孔内，拧紧车孔刀刀杆螺母（图 2-147b）将车孔刀紧固。

安装车孔刀时，用小弯头扳手勾住螺母上的开口槽，由于车孔刀刀杆主体左端为淬火后的弹性体，所以能够很好地将车孔刀夹紧。

一把车孔刀刀杆可配上各种不同规格的车孔刀，以适应不同直径小孔的加工需

要。这种车孔刀刀杆如果配合开口套筒（图 2-147d），还可装夹小尺寸中心钻、钻头、铰刀等进行其他形式的加工。

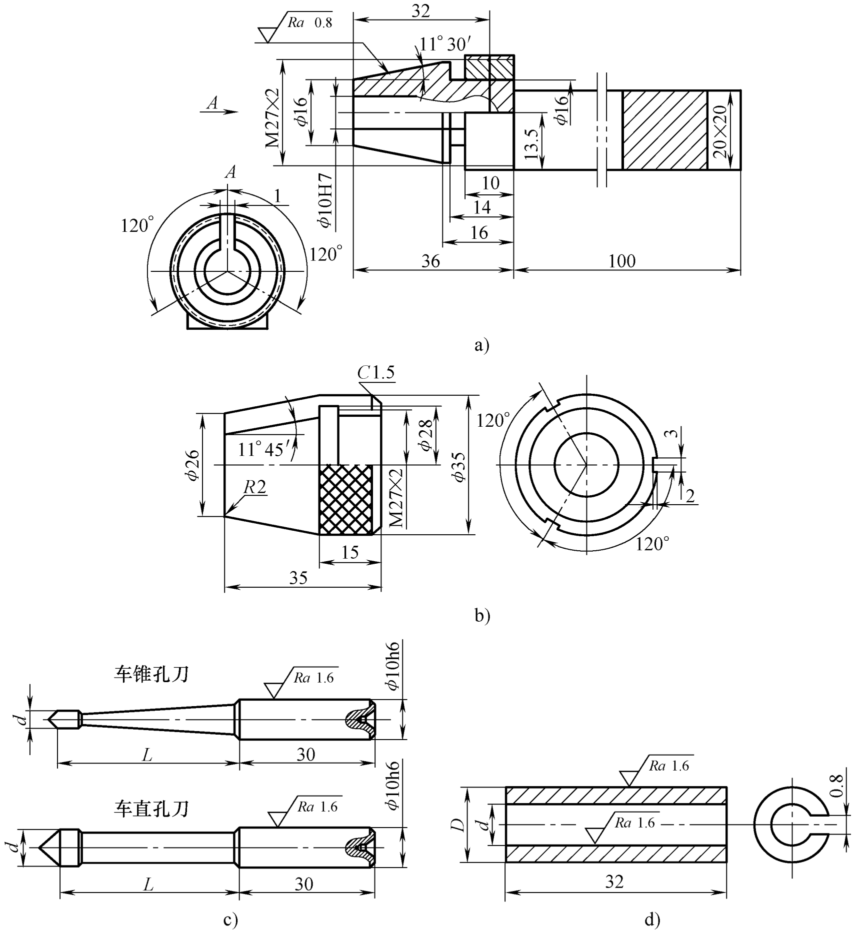


图 2-147　车小孔刀刀杆

a）车孔刀刀杆主体　b）车孔刀刀杆螺母　c）车小孔刀　d）开口套筒

3. 带螺旋槽车孔刀刀杆

使用时，将小刀杆插入车孔刀刀杆的装刀孔内，拧紧螺母，将小刀杆夹紧。这种刀杆（图 2-148）很适合车削直径为 20～40mm 的中小孔。车削中应充分使用切削液。

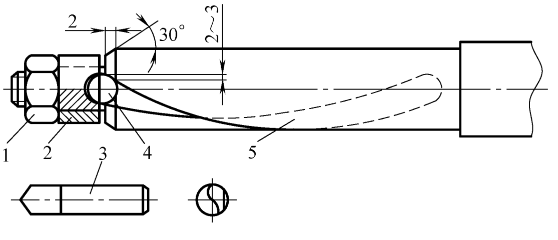


图 2-148　带螺旋槽的车孔刀刀杆

1—螺母　2—夹刀卡　3—小刀杆

4—装刀孔　5—车孔刀刀杆

带螺旋槽的车孔刀刀杆可使切屑沿螺旋槽排出，避免切屑堵

塞。为了减小振动，加大背吃刀量，制作时应适当加大刀杆直径。该车孔刀刀杆适合车削通孔时使用，且应使用切削液。

4. 支点调节式车孔刀刀杆

（1）刀杆 1　如图 2-149 所示，它以销子为支点转动，当拧动左螺钉，放松右螺钉时，车孔直径扩大；而拧紧右螺钉，放松左螺钉时，车孔直径变小。将卡头插入尾座锥孔内或将夹头体柄部做成圆锥形，直接插入尾座锥孔内。

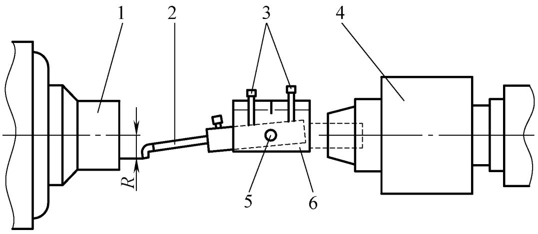


图 2-149　支点调节式车孔刀刀杆 1

1—工件　2—车孔刀　3—螺钉
4—销子　5—夹头体　6—卡头

（2）刀杆 2　如图 2-150 所示，该车孔刀刀杆采用方柄形式，使用时，将其插入刀体的方孔中，用固定螺钉和支点压紧螺钉将其夹紧。支点压紧螺钉还起着支点的作用，使用时，拧转调节螺钉，车孔刀刀杆围绕支点压紧螺钉转过相应角度，达到微调的目的。

该车孔刀刀杆按照杠杆原理进行设计。

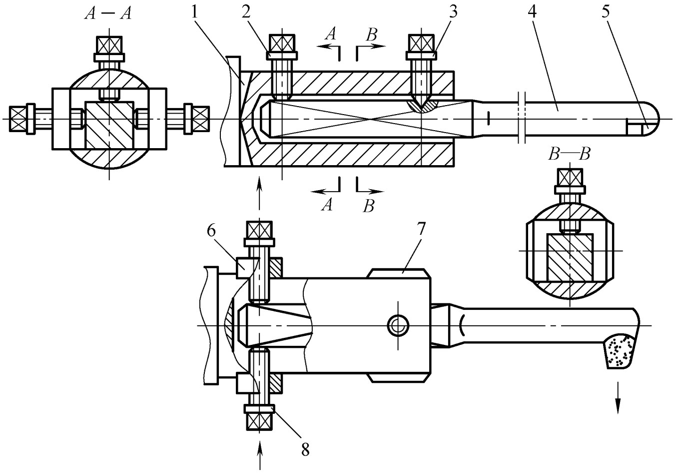


图 2-150　支点调节式车孔刀杆 2

1—刀体　2—固定螺钉　3—支点压紧螺钉　4—车孔刀刀杆
5—刀头　6—方铁　7—连接块　8—调节螺钉

5. 转动式车孔刀刀杆

如图 2-151 所示，其主体与车床主轴法兰连接在一起。偏心套的内孔与外圆有一偏心量 e（偏心量 e 根据情况具体确定）。需要调整车孔尺寸时，松开紧固螺钉，转动偏心套即可。在偏心套的端面和主体的端面上都刻有刻线，根据刻度线可看出

调整量，调整好后将紧固螺钉拧紧。

该车孔刀刀杆适合车削较小孔时使用。

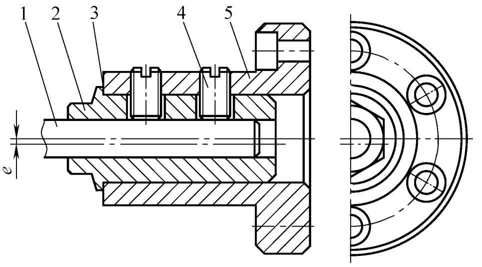


图 2-151　转动式车孔刀刀杆

1—刀杆　2—偏心套　3—刻线　4—紧固螺钉　5—主体

6. 啮合式车孔刀杆

如图 2-152 所示，在车孔刀刀杆端面和刀头的底面上都制有间距相等的尖齿齿纹，并互相啮合。车孔刀刀杆前端安装有两个互成 180°的刀头 1 和刀头 2。刀头上焊有刀片并开有长槽。需调整刀片伸出距离时，松开螺钉，刀头可顺着齿纹槽做径向移动，调节完毕将螺钉拧紧。

尖齿齿纹处应进行淬火处理，使其具有一定硬度，防止尖齿损坏变形。

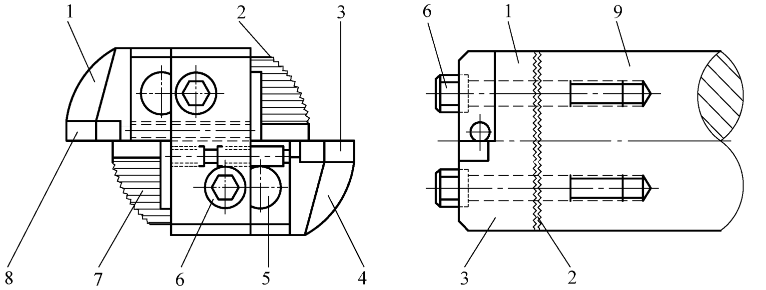


图 2-152　啮合式车孔刀刀杆

1—刀头 1　2—尖齿齿纹　3—刀片 2　4—刀头 2

5—齿纹槽　6—螺钉　7—车孔刀　8—刀片 1　9—车孔刀刀杆

7. 倾斜移位式微调车孔刀刀杆

（1）刀杆 1　如图 2-153 所示，车孔刀刀杆 2 安装在主轴 1 的锥孔内，刀杆 8 装在内圆柱体 5 的螺孔中，外套 3 与车孔刀刀杆 2 通过螺纹连接，内圆柱体 5 和外套 3 是滑动配合。外套 3 的内孔中心线和车孔刀刀杆 2 的轴线倾斜成 5°43′的角度。调整车孔刀时，先松开内六角螺钉 9，转动微调螺杆 7，带动外套 3 内的内圆柱体 5 沿倾斜中心线做径向移动，调整完毕后，将内六角螺钉 9 拧紧。

微调螺杆 7 的肩部有圆周等分刻度，它的螺距为 1.5mm 时，旋转一圈，圆柱体 5 的径向移动量 a 为：15mm×sin5°43′ = 1.5mm×0.0996 = 0.1494mm ≈ 0.15mm。如果微调螺杆 7 的等分刻度为 30 格，则旋转一格的径向移动量为 a/30 = 0.1494mm/30 ≈ 0.005mm。

（2）刀杆 2　如图 2-154 所示，该车孔刀刀杆斜孔与刀杆轴线成 60°角。斜孔内插有双键槽，装有夹刀螺杆，双凸键可在斜孔的双键槽内滑移，圆柱部分与斜孔为滑动配合。圆垫铁固定在车孔刀刀杆的斜孔内。分度螺母用以调节刀头的伸出距

离。夹刀螺杆调整到所需尺寸后，将螺钉和圆垫铁锁紧在一起。垫圈、密封垫和弹性圈用以防尘和滞动。

分度螺母上面有刻度，分度螺母转动一周，夹刀螺杆就移动一个螺距。例如：螺纹为 M18×1.5，由于它与车孔刀刀杆轴线倾斜成 60°角，这时，刀头刀尖的径向位移值为：1.5mm×sin60°＝1.299～1.33mm。若分度螺母上面的刻度有 65 格，则分度螺母转动一格，刀尖的径向位移量为 0.02mm。

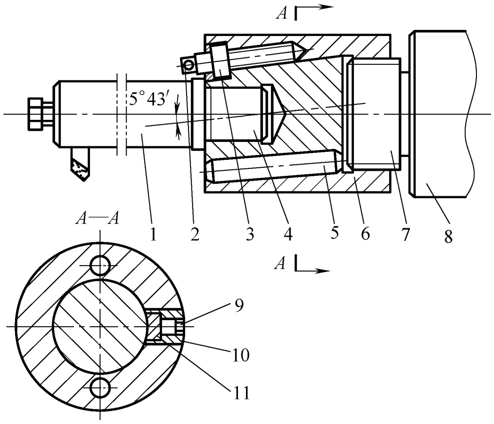


图 2-153　倾斜移位式微调车孔刀刀杆 1

1—主轴　2—车孔刀刀杆　3—外套　4—圆柱销　5—内圆柱体　6—零线环　7—微调螺杆　8—刀杆　9—内六角螺钉　10—螺套　11—黄铜紧固垫

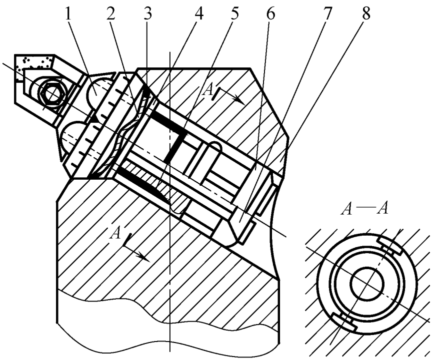


图 2-154　倾斜移位式微调车孔刀刀杆 2

1—分度螺母　2—弹性圈　3—密封圈　4—垫圈　5—夹刀螺杆　6—圆垫铁　7—螺钉　8—车孔刀刀杆

8. 刀头垂直进给式微调车孔刀刀杆

（1）刀杆 1　如图 2-155 所示，这种车孔刀刀杆刀头伸出调整的方向与刀杆轴线垂直。图中，车孔刀刀杆上装有主体套，并用长螺钉固定。刀头装在夹刀套孔中，并用小螺钉固紧。螺杆小端旋在夹刀套的螺孔内，大端旋在主体套螺孔中。螺杆大端和小端的螺距不相等。调整时，转动螺杆，使夹刀套和刀头前后移动，移动量等于大端螺距和小端螺距之差。

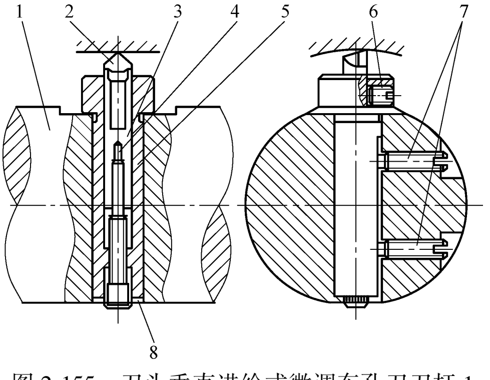


图 2-155　刀头垂直进给式微调车孔刀刀杆 1

1—车孔刀刀杆　2—刀头　3—夹刀套　4—螺杆　5—主体套　6—小螺钉　7—长螺钉　8—刻线

调整时，需先松开固定刀头的小螺钉。在螺杆的头部有刻线，以准确地掌握刀头移动的尺寸。

（2）刀杆 2　如图 2-156 所示，刀杆上的车孔刀刀头呈圆柱形，转动微调螺钉 6，可带动车孔刀刀头 4 沿车孔刀刀杆径向移动。拧动内六角螺钉 5 可带动滑块 2

和 3 移动，以实现夹紧或松开车孔刀刀头 4。

9. 双向微调车孔刀刀杆

如图 2-157 所示，在车孔刀刀杆端处横向加工出一个方孔，分别从两头各插入一个高速钢短车孔刀，短车孔刀内端磨成 V 形，用紧固螺钉固定。需要调整短车孔刀的伸出长度时，可拧动 45°方向的调节螺钉，通过它推动圆销使短车孔刀向前移动。

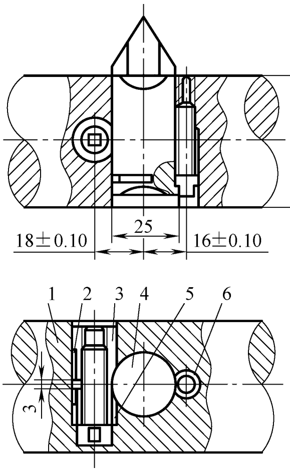


图 2-156　刀头垂直进刀式微调车孔刀刀杆 2

1—车孔刀杆　2、3—滑块　4—刀头　5—内六角螺钉　6—微调螺钉

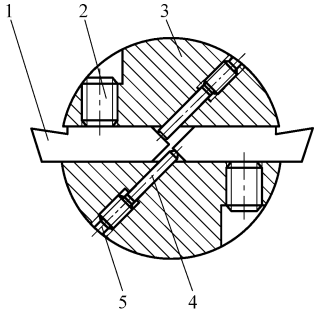


图 2-157　双向微调车孔刀刀杆

1—车孔刀　2—紧固螺钉　3—车孔刀刀杆　4—圆柱销　5—调节螺钉

车孔时，两个短车孔刀各担负一半的背吃刀量，或者一个作为粗车孔刀，另一个作为精车孔刀。

10. 微调车孔刀刀头

（1）刀杆 1（图 2-158）　使用时使其锥柄与主轴锥孔配合。将其插入锥孔后，使用拉杆在车床主轴后端将车孔刀刀头拉住，以增强刚性和防止其脱离。锥柄的下面有燕尾槽，燕尾块与它滑动配合，当转动螺杆时，燕尾块可沿燕尾槽移动，从而调节刀头的回转直径。螺杆一端安装一个刻度盘以掌握背吃刀量。刻度盘上有刻度线，100 格螺杆上的螺纹为 M20×2，每转动一格背吃刀

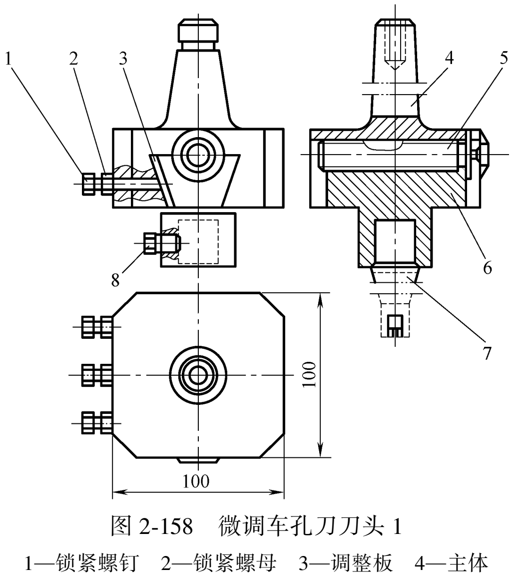


图 2-158　微调车孔刀刀头 1

1—锁紧螺钉　2—锁紧螺母　3—调整板　4—主体
5—螺杆　6—燕尾块　7—刀杆　8—固定螺钉

量增加 0.02mm。刀杆用固定螺钉紧固，调整尺寸时先松开锁紧螺钉，再转动螺杆，调整好后把锁紧螺钉拧紧，并拧紧锁紧螺母。

制作该车孔刀刀头时，注意使燕尾块上的内螺纹与主体上的内螺纹并合在一起同时车出，以保证能和螺杆严密配合。

微调刀杆一类的车孔刀结构适合车削大孔径时使用。

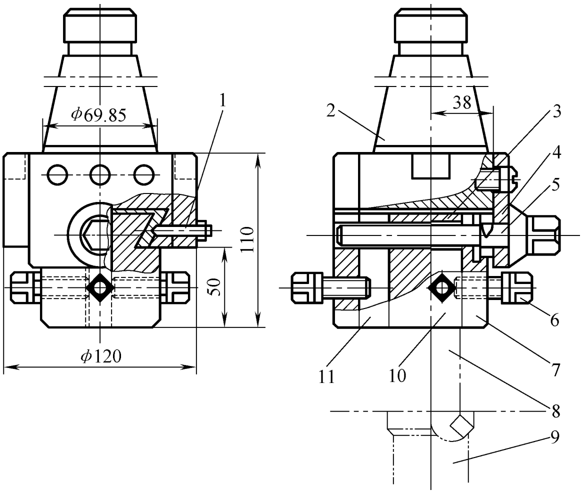


图 2-159　微调车孔刀刀头 2

1—锁紧螺钉、螺母　2—锥柄　3—方形螺母　4—定位板　5—螺杆　6—螺钉　7—刀座　8—车孔刀刀杆　9—工件　10—第一装刀孔　11—第二装刀孔

（2）刀杆 2（图 2-159）　当转动螺杆时，通过方形螺母使刀座上的燕尾块沿着燕尾槽做径向移动，从而调整了车孔刀刀杆的旋转直径。每次调整后，都将锁紧螺钉的螺母拧紧。在刀座上制出两个装刀孔，两个孔与车孔刀锥柄中心的距离不一致，车大孔时将车孔刀刀杆装在第二装刀孔内，车小孔时则装在第一装刀孔内。在每个装刀孔的侧面各有一个螺钉（也可做成两个）用来紧固车孔刀。

螺杆为矩形螺纹，螺距为 3mm，在锥形刻度盘上刻有 100 等分的刻度线，每转过一格刻度线，刀座就移动 0.03mm。

11. 车大孔刀刀杆

车削大直径孔时可使用图 2-160 所示的车大孔刀刀杆（也称组合刀杆）。将车床小滑板拆下，安装上车大孔刀刀杆主体。将刀杆夹持在主体内，车孔刀刀头插入刀杆左端的方孔中，拧紧紧固螺钉，通过顶杆将车孔刀刀头固定。松开内六角螺钉可改变刀杆的伸出长度。

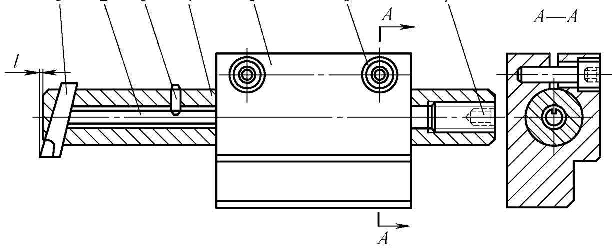


图 2-160　车大孔刀刀杆

1—车孔刀刀头　2—顶杆　3—定向销　4—刀杆　5—主体　6—内六角螺钉　7—紧固螺钉

定向销伸入刀杆内的长度应以顶杆能在刀杆内活动为宜。调整好刀杆的伸出长度后，再将内六角螺钉拧紧。

车大孔刀刀杆主体用铸铁制造，有良好的消振性。

2.3.3　普通孔类工件的车削

1. 车削孔类工件的基本方法

图2-161所示是在车床上车孔时所使用的最基本的方法。当工件较大或较长，不便于在车床上装夹时，也常采用将工件装在中滑板上车孔的方法。拆去中滑板上的小滑板和刀架，夹具5通过中滑板上的T形槽固定在中滑板上，车孔刀刀杆安装在主轴和尾座的两顶尖之间，这样使车孔刀刀杆旋转，工件固定，进行车削。

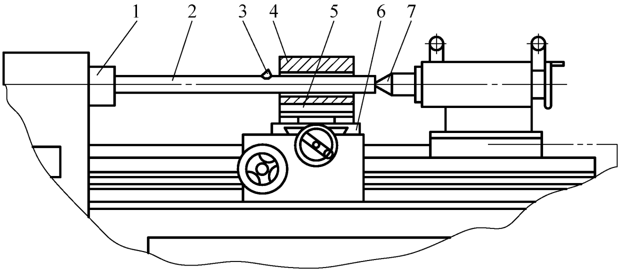


图2-161　工件装夹在中滑板上车孔

1—主轴　2—车孔刀刀杆　3—刀头　4—工件　5—夹具　6—中滑板　7—后顶尖

为了确定车孔位置，可在工件两端面上划出加工线，并在刀头3处固定一根钢丝针，转动主轴和车孔刀刀杆，使针尖对正工件两端面的加工线印进行找正。工件的横向位置通过中滑板进行调整，工件的高低位置通过垫以垫片或垫板来调整。

采用这种车孔方法要求车孔刀刀杆2两端的中心孔精度高，并且应使用固定式顶尖顶持（回转顶尖回转误差大）。

2. 精车孔时增加背吃刀量的方法

精车孔过程中，当需要增加背吃刀量，且调整量很小（如0.05~0.1mm）时，调整中滑板手柄处刻度盘的刻度值是比较难掌握的。这时，除了前面介绍过的百分表控制法和转动小滑板角度控制径向进给的方法外，还可以采用图2-162b所示垂直装刀形式，这样，车孔刀头位于工件的垂直位置（而不是图2-162a所示的水平位置），使车孔刀能够在工件的顶部进行切削，中滑板进给时，就沿所车削的孔做切向进给。图2-162b中，D为孔的加工余量，C为达到加工余量D所需的刀架移动量，这时有：

$$C=\sqrt{A^2-B^2}$$

3. 预防车孔时出现振动现象

车孔时，车孔刀在半封闭状态下工作，并且，车孔刀刀杆伸出的部分较长，所

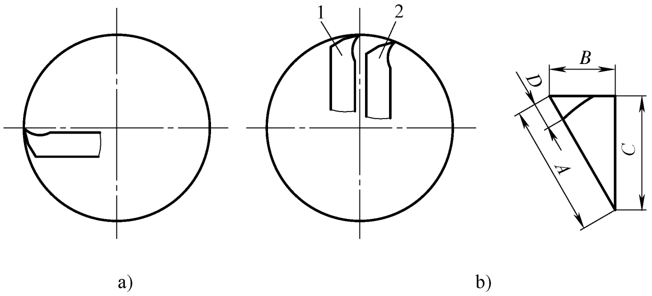


图 2-162　精车孔装刀形式
a）正常装刀法　b）垂直装刀法
1—加工前刀具位置　2—加工后刀具位置

以很容易出现振动现象。

产生振动的原因是多方面的，如工件装夹不妥当、夹具刚性差、主轴轴承严重磨损、导轨磨损、滑板间隙调整太松、刀头刀齿不锋利、车孔刀刀杆伸出太长（图 2-163）以及车孔刀刀杆刚性不足、车削用量选择不正确或加工方法不合理等，所以在发现有振动的问题时，应有针对性地找出原因，并加以解决。

为了预防和解决车孔时出现振动，从工艺系统来讲，还可采取以下措施：

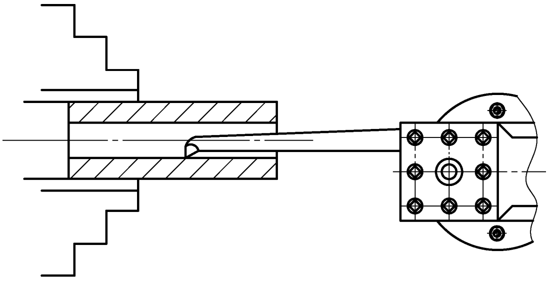


图 2-163　车孔刀刀杆伸出太长

（1）内支承法增强车孔刀刀杆刚性　若车孔刀刀杆刚性差，车孔时不仅会引起振动，还会出现“让刀”现象，车削出的孔越向里直径越小，呈锥形孔，这时，如果车床精度方面不存在问题的话，就应该设法增加车孔刀刀杆的刚性。增加车孔刀刀杆刚性的方法，一是增大刀杆的宽度和厚度，但太宽太厚会显得很笨重，也不能完全理想地解决问题；二是采用辅助支承的方法。下面介绍另外几种方法，它们在结构方面有些变化，但工作原理是一致的。

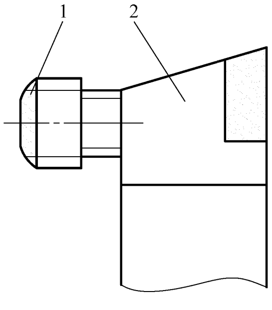


图 2-164　用圆头螺栓增强车孔刀刀杆刚性
1—圆头螺栓　2—车孔刀刀杆

如图 2-164 所示，在刀杆上加工出一个 M10 螺孔，并拧进一个长度适当的圆头螺栓。车孔时，先试切出一段长 20～30mm 的预车孔，然后停机，调节刀杆上的圆头螺栓，使圆头螺栓上的圆头与预车孔孔壁接触好，并通过锁紧螺母（图中未画

出）将圆头螺栓锁紧，接着进行车孔。

如图 2-165 所示，将一个管状螺纹接头安装在车孔刀刀尖 180°的后刀面，管状螺纹接头上有一个钢球。车孔时，钢球能自由地旋转，并和被加工表面保持接触，增强了车孔刀刀杆的刚性。

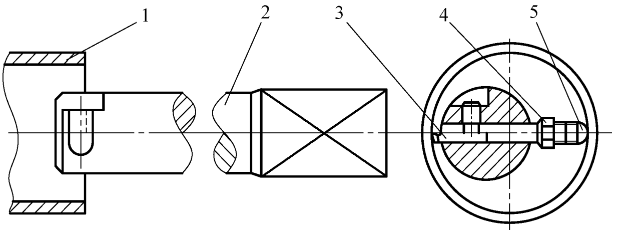


图 2-165 用钢球增强车孔刀刀杆刚性

1—工件 2—车孔刀刀杆 3—刀头 4—管状螺纹接头 5—钢球

对于直径和长度尺寸都较大的孔，车削时，可采用图 2-166 所示方法，在车孔刀尖 180°的后面和相垂直位置上各装上一个调整螺钉，其中，一个螺钉头部与车孔刀刀尖同处一个旋转表面，另一个螺钉头部稍后于车孔刀刀尖。每次调好螺钉头部伸出距离后，都要将锁紧螺母紧固。在车孔时，螺钉头部和被加工表面接触，起到支撑车孔刀杆的作用。

采用辅助支承增强车孔刀刀杆刚性的方法适合在粗车孔和半精车孔时使用。

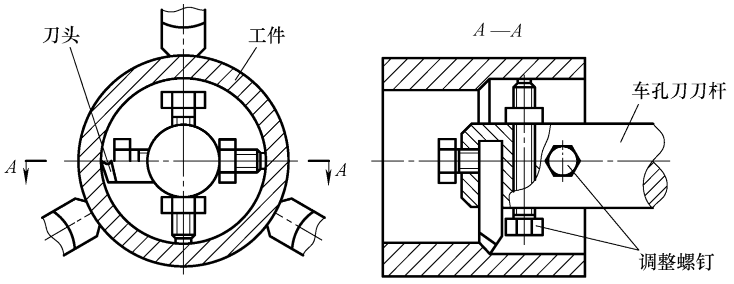


图 2-166 利用螺钉头部增强车孔刀刀杆刚性

（2）外支承法增强工件刚性 车削较长孔类工件时，为了提高工件刚性，可使用中心架将工件架起来，如图 2-167 所示。

批量加工直径较小的孔类工件时，还可采用图 2-168 所示辅助支承的方法。车孔时，将辅助支承固定在车床导轨上（像固定中心架那样），使支承环上的凹槽与工件端面和外圆接触（支承环的孔直径要大于被车孔直径），这样，当工件旋转时就会同时带动支承环旋转，进行车孔工作。

（3）橡胶材料防振法 图 2-169a 所示是在工件的外圆包上一层 5mm 厚的橡胶板（或橡胶带），用弹簧将其拉紧，可起到较好的防振效果。还可以根据薄壁管件直径和宽度的大小，利用宽松紧带缝制成筒状，套在工件外圆上，如图 2-169b 所

示，然后进行孔的精加工。图 2-169c 所示是在工件外圆处缠上橡胶管，这样也能起到一定作用。因为橡胶材料都是弹性体，相当于一个阻尼减振器，利用阻尼消耗能量，减小共振振幅，达到消振或减振目的。

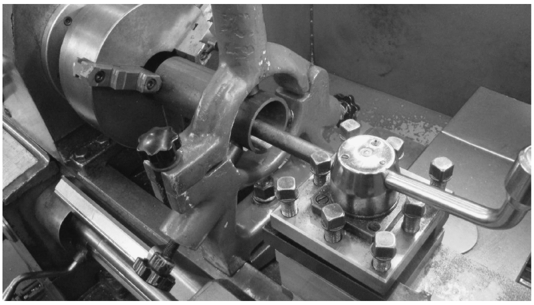


图 2-167　利用中心架提高工件刚性

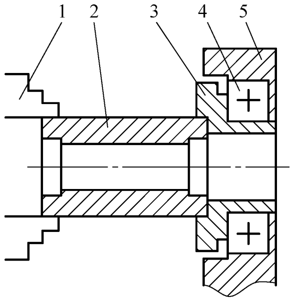


图 2-168　利用辅助支承提高工件刚性

1—卡爪　2—工件　3—支承环

4—滚动轴承　5—辅助支承

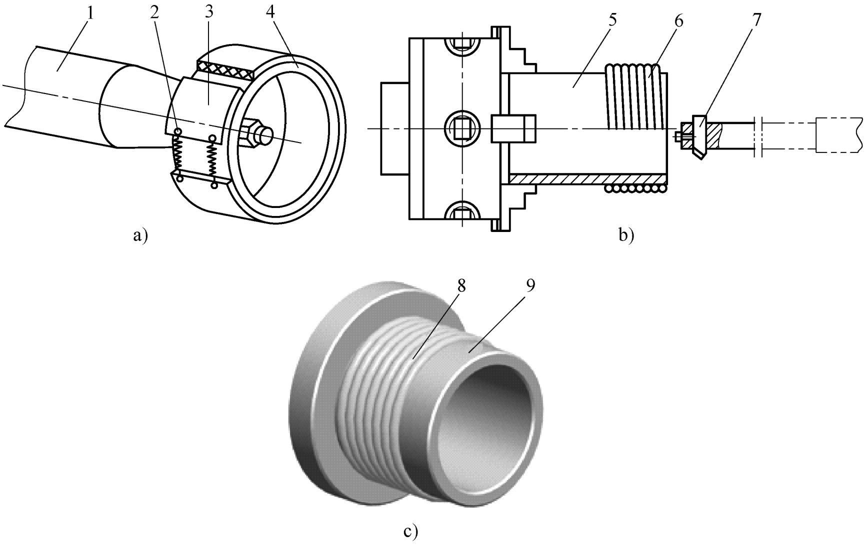


图 2-169　利用橡胶材料防振

a）利用橡胶板防振　b）利用松紧带防振　c）利用橡胶管防振

1—心轴　2—弹簧　3—橡胶板　4、5—工件

6—松紧带　7—车孔刀　8—橡胶管　9—管件

（4）采用 0°后角法　车孔刀在砂轮上刃磨好角度后，再在靠近刀尖主切削刃处，将主后角刃磨出 2~3mm 的 0°角，如图 2-170 所示。目的是在切削过程中，由于刀杆的弹性变形，在刀尖处又会形成一个小的后角，有利于切削和减小振动。

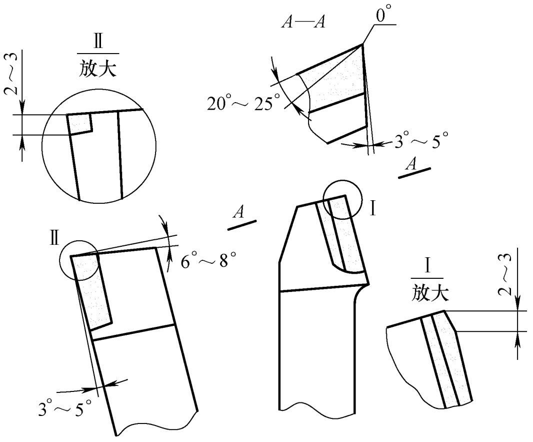


图 2-170　车孔刀几何角度

2.4　车削螺纹

2.4.1　普通螺纹

1. 螺纹车刀几何角度对车螺纹的影响

螺纹车刀如图 2-171 所示，它通常装夹在弹性刀杆上使用，如图 2-171b、c 所示，这是为了在切削过程中偶遇受力不均匀时起缓冲作用而保护刀尖。车螺纹时，配合正确使用切削液，能降低加工表面的表面粗糙度值。

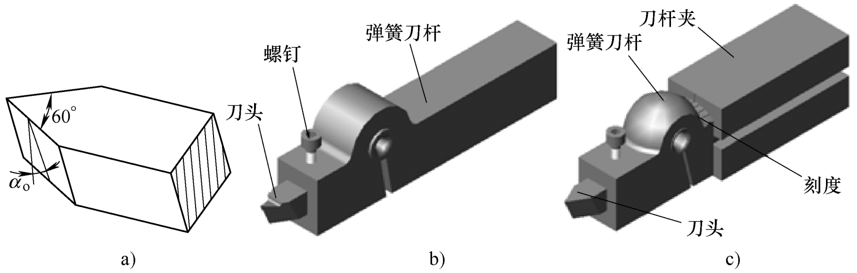


图 2-171　螺纹车刀及其装夹

a）前角 $\gamma_o=0°$的螺纹车刀　b）螺纹车刀装在普通弹性刀杆上　c）螺纹车刀装在转体刀夹内

（1）车刀前角对车螺纹的影响　螺纹车刀刀尖处的前角称为径向前角 γ_o，从理论上讲，它是符合前角定义的，而两侧刃是不符合前角定义的，但习惯上仍称为前角。车削普通螺纹时，车刀的径向前角 $\gamma_o=0°$，车刀的刀尖角 ε_r，等于牙型角 α，即 $\varepsilon_r=\alpha=60°$，这样，车出的螺纹牙型是正确的；当螺纹车刀的径向前角 γ_o（图 2-172）大于或小于 0°时，车螺纹中两侧切削刃不平行于工件的轴线，车出的

螺纹牙侧不是直线而是微曲线，并且，径向前角越大，牙型半角误差越大，即实际牙型角比标准的牙型角要大，车出的轴向牙型断面如图 2-173 所示。所以，在精车精度要求较高的螺纹工件时，为了保证牙型的准确，车刀的前角一般取 0°~5°。

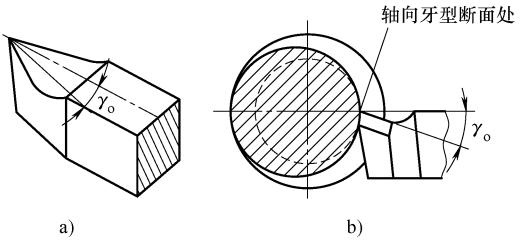


图 2-172　径向前角 γ_o>0°的螺纹车刀切削情况

a）径向前角 γ_o>0°的螺纹车刀

b）γ_o>0°螺纹车刀切削工件

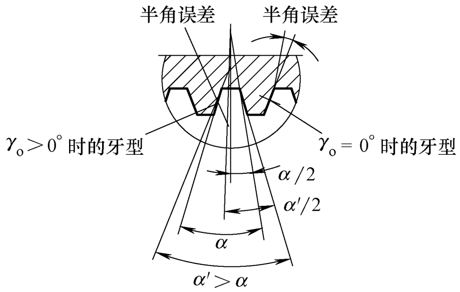


图 2-173　螺纹牙型半角出现误差

（2）车刀刀尖角对车螺纹的影响　前面谈到，螺纹车刀的径向前角 γ_o>0°时，会对螺纹的牙型角造成影响，并且，径向前角越大，影响越大。当径向前角 γ_o>0°时，若车刀刀尖角 ε_r 等于螺纹牙型角 α，车出的螺纹牙型角将会大于所规定要求。但对于精度要求不高的螺纹，为了增大车刀前角使切削轻快，实际工作中，可采用适当减小刀尖角以获得比较准确的牙型角的方法。在螺纹车刀的径向前角 γ_o<12°时，车刀刀尖角 ε_r。可按下式近似计算：

$$\varepsilon_r = \alpha\cos\gamma_o$$

式中　α——螺纹牙型角（°）；

γ_o——螺纹径向前角（°）。

在不便于进行计算的情况下，螺纹车刀的径向前角 γ_o<12°时，可使车刀刀尖角比螺纹牙型角小 1°±0. 3°。

（3）车刀两侧刃后角对车螺纹的影响　车螺纹时，车出的沟槽是一条螺旋线，由于不同工件的螺纹升角不一致，所以螺纹车刀的后面与牙型侧面间的接触角度也不相同，工件的螺纹升角越大，切削中的车后角也会随之增大。如果不注意这个角度的变化，就可能造成车刀后面与牙型侧面碰在一起，甚至擦伤。尤其在加工大螺距螺纹时，更要考虑到这方面因素的影响。为此，车右旋螺纹时，螺纹车刀左切削刃处的左后角 $\alpha_{o左}$应加大点，在原来后角 α_o 的基础上，加上一个螺纹升角 τ，即 $\alpha_{o左} = \alpha_o + \tau$，这时右切削刃处的右后角 $\alpha_{o右}$应减小，在原来后角 α_o 的基础上，减去一个螺纹升角 τ，即 $\alpha_{o右} = \alpha_o - \tau$。

车削左螺纹时的车刀后角与以上相反，即

$$\alpha_{o左} = \alpha_o - \tau, \alpha_{o右} = \alpha_o + \tau_o$$

螺纹升角 τ 如图 2-174 所示，用下式计算

$$\tan\tau = \frac{P}{\pi d_2}$$

式中　P—— 螺纹螺距（mm）；

d_2—— 螺纹中径（mm）。

车螺纹中，需要调整螺纹车刀的两侧刃后角时，可使用转体式弹簧刀杆。

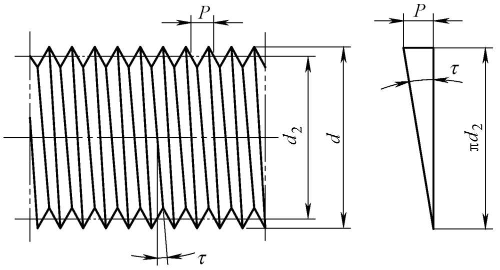


图 2-174　螺纹升角计算图

2. 采取有效措施保证切削稳定性

在细长轴类工件上车螺纹时，由于它的刚性差，在背向力的作用下很容易弯曲。为了防止和减少这种情况的出现，除了使用跟刀架外，还可以使用顶扶工具。

如图 2-175 所示，在细长工件上车螺纹时使用了轻便而稳定的顶杆，夹块安装在尾座顶尖上，支承杆固定在夹块内，青铜制的顶杆夹紧在支承杆上。在顶杆的末端有一个 V 形缺口，与旋转的工件接触，以抵抗车削中车刀所产生的作用力。安装该装置时，应使顶杆与水平面成一个角度，并且，顶杆的 V 形缺口应向车刀方向适当倾斜，以平衡车刀对杆件的合力。

由于受支承杆长度的限制，该装置适合车削长度小的较细螺杆。

图 2-176 所示是车削 M3 的细螺杆时，在不便于用尾座顶尖的情况下所使用的顶扶工具。

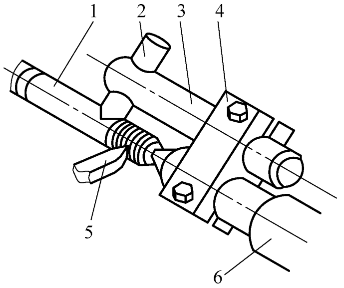


图 2-175　使用顶扶工具车细螺杆（一）

1—工件　2—铜顶杆　3—支承杆

4—夹块　5—车刀　6—尾座

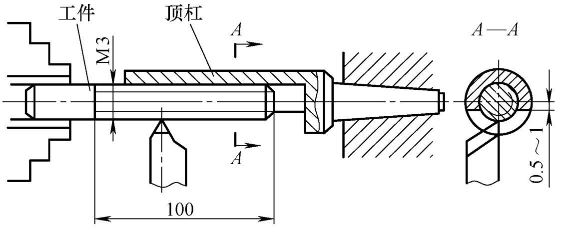


图 2-176　使用顶扶工具车细螺杆（二）

将顶扶杆放入尾座内，并适当调整尾座偏移量，使它与工件表面接触好。使用这样的工具能够保证工件加工后不弯曲。

制造该工具时应使用韧性钢料，并保证顶扶杆的顶持面与车床主轴中心线相平行。

车削长度大而精度要求较高的螺杆时，可采用图 2-177 所示的顶扶工具。在使用跟刀架的同时，在车刀的右面装上一个带弹簧的顶销，这样就有效地保证了工件的稳定，防止了车刀切削中的弹动。使用该装置时，注意调整好跟刀架爪与顶销之

间的相对位置，并使弹簧具有一定的压缩力，以保证顶销的顶持力。

3. 防止车床长丝杠的轴向窜动对工件螺距产生影响

被加工螺纹的螺距超差会影响螺纹的可旋入性。出现螺距误差的主要原因是车床本身的精度问题以及操作失误，如车床长丝杠轴向窜动量太大等。检验丝杠轴向窜动量的方法是：将带磁性表座的百分表固定在车床导轨面上（图 2-178），在长丝杠中心孔内黏放上一钢球，使长丝杠旋转，并在长丝杠中段处开启和闭合溜板箱内的开合螺母进行检验。百分表读数的最大差值就是长丝杠的轴向窜动误差，它的公差为 0.015mm。若超差，应认真进行调整。

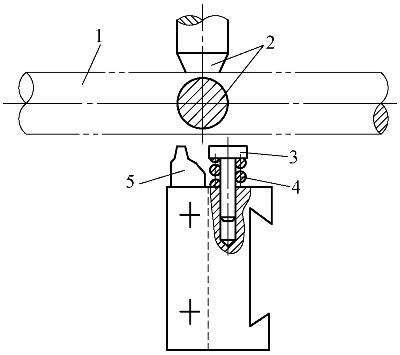


图 2-177 车削较长螺杆使用的顶扶工具

1—工件 2—跟刀架爪 3—顶销 4—弹簧 5—车刀

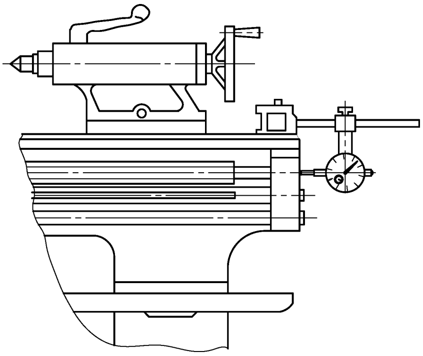


图 2-178 检验长丝杠轴向窜动量

对于精度要求不高的螺纹，若螺距超差，为了不影响螺纹的可旋入性，可将工件的螺母中径适当车大一些，螺纹连接时中径处有一些间隙，这样就能够达到可旋入的要求。这个间隙一般称为补偿间隙。但是，中径补偿值不能无限增大，否则会影响连接的可靠性，所以必须限制中径补偿值的大小。限制了中径补偿值的大小也就是限制了螺距误差的大小。

另外，车床主轴的轴向窜动、交换齿轮间的间隙不当、车床导轨对工件轴线的平行度或导轨的直线度超差等都会对螺纹工件的螺距精度产生影响。

4. 提高车螺纹的工作效率

提高工件效率问题涉及许多方面，例如，改善加工方法，多线螺纹工件采用多刀切削，提高车削用量，使用先进刀具以及使用快速夹具或采用快捷夹持方法，缩短操作中的空行程时间，缩短测量时间和合理地布置工作场地等，下面就具体加工方法举几个例子进行说明。

（1）锥柄螺纹工件卸件方法　车削锥柄螺纹工件时，为了方便安装工件和提高效率，通常将工件插入相应锥孔内进行加工，但在卸下工件时，如果方法不当，反而耽误时间。图 2-179 所示为锥柄螺纹工件的装夹工具，利用它能迅速地卸下工件。夹具体 1 有外螺纹部分，上面拧有滚花螺母 2，滚花螺母上有 4 个扳动用的

孔。在锥孔 6 后面有横向通槽 5，槽 5 内装有退件板 4，退件板上有个在槽 7 内活动的小销 8，用于将退件板保持在槽 5 内。锥柄螺纹工件 3 车完螺纹后，向外拧动滚花螺母 2，退件板 4 便会将锥柄螺纹工件 3 顶出。

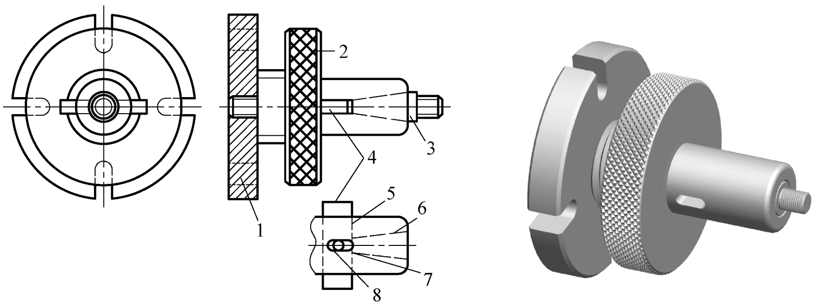


图 2-179　锥柄螺纹工件装夹工具

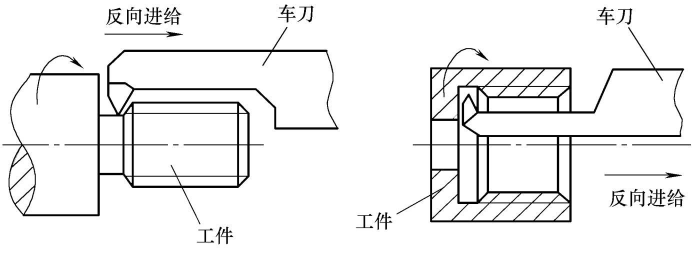
1—夹具体　2—滚花螺母　3—锥柄螺纹工件

4—退件板　5、7—槽　6—锥孔　8—小销

（2）采取高速车削方法　高速车螺纹具有被切削表面粗糙度值低、效率高等优点，但由于切削温度增大会引起螺纹牙尖的“膨胀变形”，因此，外螺纹的外圆应车到最小极限尺寸，内螺纹孔径应车削到最大极限尺寸。

（3）高速车螺纹中的反向进给法　高速车螺纹时主轴的转速很高（它的车削速度是使用高速钢车刀时的 6 倍甚至更高），并且，进给速度也很快（进给次数一般只需 3~5 次，就可车成螺纹），尤其是车削大螺距螺纹和内螺纹时，往往因为来不及退刀而发生撞车事故。在这种情况下，可采用反向进给法。

图 2-180a 所示是反向进给法高速车外螺纹的情况，将一把类似车内螺纹时使用的车刀装在刀架上，车刀刀尖对在工件的退刀槽处，调整好背吃刀量后，车床主轴反转，并在高速下由左向右进给，将螺纹车出来。这样，就不存在车刀退不出来的问题了。图 2-180b 所示是将内螺纹车刀磨成反向，调整好背吃刀量后，工件反转，通过由左向右进给将螺纹车出来。



a)　b)

图 2-180　高速反向进给车螺纹

a）反向进给车外螺纹　b）反向进给车内螺纹

（4）采用不停机夹具　图 2-181 所示为圆螺母工件。单件生产该工件时将其装夹在自定心卡盘内即可进行加工。大批量加工时为了提高效率，可采用图 2-182 所示不停机夹具。

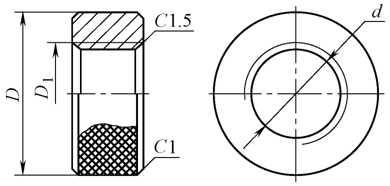


图 2-181　圆螺母工件

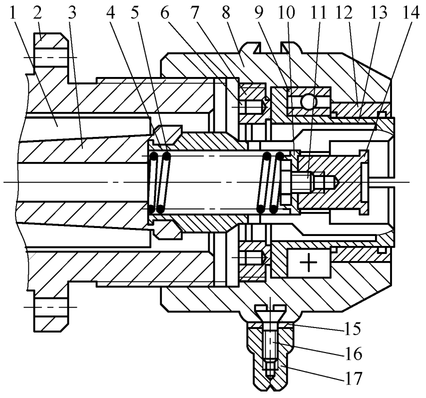


图 2-182　车圆螺母不停机夹具

1—主轴　2—法兰　3—弹簧心轴　4—弹簧夹头　5—弹簧　6、11、16—螺钉　7-锁紧盘　8—外套　9—轴承　10、15—垫圈　12—铜套　13—止推套　14—夹头芯　17—手柄

法兰 2 固定在车床主轴箱法兰上，弹簧夹头 4、弹簧心轴 3 与车床主轴 1 依次连接并随主轴 1 旋转。外套 8 与法兰 2 通过螺纹连接，不随主轴 1 旋转。加工时，将圆螺母工件放入旋转的弹簧夹头 4 的孔内，按逆时针方向扳动手柄 17，使外套 8 沿轴线向左旋转移动，带动止推套 13 同步向左移动，从而夹紧工件。加工完毕后，在车床主轴不停止转动的情况下，顺时针方向扳动手柄 17，使外套 8 向右旋转移动，止推套 13 同步向右移动，这时，弹簧夹头 4 松开，在弹簧 5 的作用下，推动夹头芯 14，使工件自动脱落，紧接着仍然不停机安装下一个工件继续进行加工。

由于使用该夹具是在不停机情况下进行工作的，为了防止工件划破操作者手指，安装工件时，可使用图 2-183 所示辅助工具，将圆螺母工具穿在短轴上，拿住手柄将工件放进夹具内。

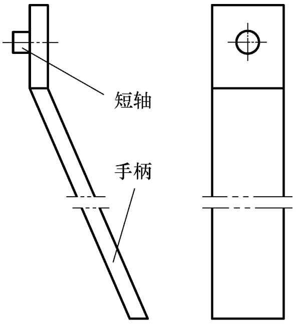


图 2-183　辅助工具

（5）双刀车削双线螺纹　双线螺纹的加工，一般都是先车出一个导程，然后经分线后再车出另一个导程，如果采用双刀刀排加工，可提高生产率。

图 2-184 所示为车双线内螺纹刀排的结构，刀排上装有两把螺纹车刀，都用 10mm×10mm 的高速钢制成，两把刀分别组成一个螺距。刀杆的长度 *L* 根据不同的工件长度来确定，刀杆的刚性要够，满足通用性

的要求。刀杆的左端做成椭圆形，易于排屑。为了制造方便，车刀安装在开口槽内，由螺钉将车刀紧固。车刀刃磨时，需使用样板对刀，同时为了保证螺距，可以用较薄的铜皮在两刀之间隔衬。为保证两把车刀前面的一致性，刀头装配后，前面在工具磨床上一次磨出。刀具的几何角度均按常规参数选定。

图 2-185 所示为车双线外螺纹双刀刀排结构，其工作原理与内螺纹双刀刀排是一致的。

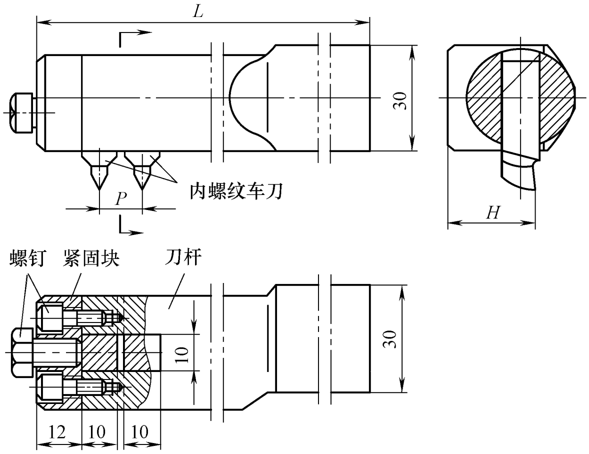


图 2-184　双刀车双线内螺纹刀排结构

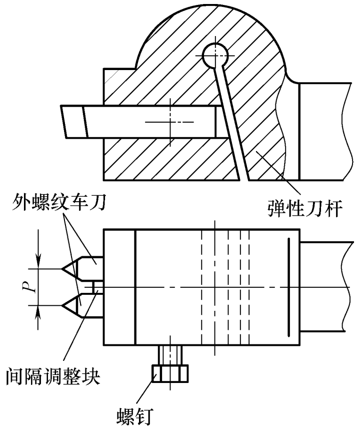


图 2-185　双刀车双线外螺纹刀排结构

5. 采用车螺纹自动退刀装置

高速车螺纹中，由于纵向进给很快，当车刀走到螺纹尾部时若不能及时退刀，就会碰伤车刀或工件。

车螺纹自动退刀装置有多种形式，图 2-186 所示是一种比较简单的结构。它将刀架转动 29°的斜角，在其上面固定平板 3，在平板 3 上固定销 6，在销 6 上铰接一个有调节手柄 5 的连杆 7，内端铰接在长杆 2 上的销 4 上，在销 4 上还铰接一个连杆 9，

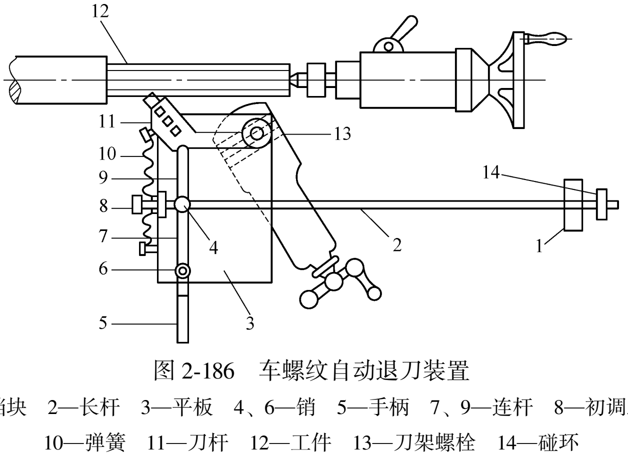


图 2-186　车螺纹自动退刀装置

1—挡块　2—长杆　3—平板　4、6—销　5—手柄　7、9—连杆　8—初调螺钉
10—弹簧　11—刀杆　12—工件　13—刀架螺栓　14—碰环

刀杆 11 在刀架螺栓 13 上铰接。车螺纹时，当车到尾部时，固定在长杆 2 上的碰环 14 接触到固定在床身上的挡块 1，长杆 2 拉动销 4，使连杆 9 逐渐后撤，刀杆 11 在弹簧 10 拉动下，也逐渐离开工件 12。该装置开始使用时，先通过初调螺钉 8 进行调整。

2.4.2 梯形螺纹

1. 梯形螺纹车刀

（1）梯形螺纹车刀顶刃宽度尺寸　梯形螺纹车刀顶刃的宽度尺寸 B（图 2-187）应根据螺纹槽底的尺寸而定。根据 GB/T 5796.1—2005 及 GB/T 5796.3—2005 的规定，车刀顶刃的宽度尺寸可用下式计算

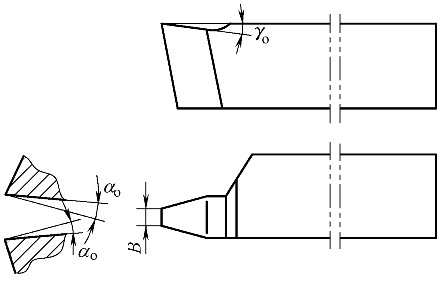


图 2-187　梯形螺纹车刀

$$B=0.366P-0.536a_c$$

式中　P——梯形螺纹螺距（mm）。

a_c——梯形螺纹牙顶间隙（mm），当 $P=2\sim5$mm 时，$a_c=0.25$mm；当 $P=6\sim12$mm 时，$a_c=0.5$mm；当 $P=4\sim44$mm 时，$a_c=1$mm。

（2）螺纹车刀工作角度与螺纹升角的关系　在车普通螺纹时，由于不同工件上的螺纹升角不一致，而出现车刀两侧刃后角对车螺纹产生影响。在车削梯形螺纹时，由于螺纹升角的增大，该现象更为明显，即螺纹升角 τ 使车刀在切削中的实际后角发生变化，左切削刃上的后角，因为螺纹升角 τ 的关系，使实际后角减小了 τ 角；而右切削刃上的后角，则增大了 τ 角。出于这个原因，车削右旋螺纹，在确定梯形螺纹车刀的后角时，左边切削刃上的后角，还要加上一个 τ 角，由于梯形螺纹车刀的后角一般为 3°~5°，这时成为（3°~5°）+ τ，如图 2-188 所示；而右边切削刃上的后角，必须减去一个 τ，成为（3°~5°）$-\tau$，这样，在实际切削中就能保证两边的后角相等。车削左旋螺纹时则与此相反。

实际加工中，为了改善螺纹升角对车刀工作角度的影响，可适当改变车刀与工件的相对位置。使用转体刀杆，将车刀转动一个工件的螺纹升角，并将车刀法向安装（图 2-189），或者在刃磨时，将车刀的左侧刃后角磨得大些，右侧刃后角磨得

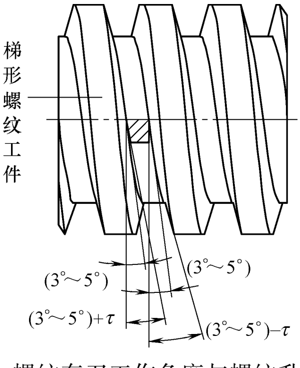


图 2-188　螺纹车刀工作角度与螺纹升角的关系

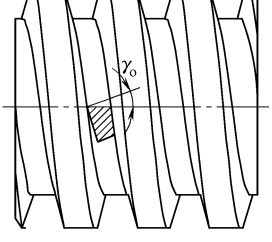


图 2-189　车刀法向装刀

小些，并在切深剖面内适当增大磨出径向正前角 γ_o（径向正前角 γ_o 见图 2-188，它根据被加工材料不同，一般增大 5°~15°）。

（3）梯形螺纹车刀牙型角及其修正　有径向前角的螺纹车刀，因两侧切削刃不通过梯形螺纹工件的中心线，因此，被切削螺纹轴向剖面的牙型不是直线，而是曲线，这种误差对螺纹牙型角的影响较大，特别是对具有较大径向前角的螺纹车刀。因此，在车削时须对螺纹车刀的牙型角进行修正。螺纹车刀牙型角修正值可从表 2-7 中查出。

表 2-7　梯形螺纹车刀牙型角修正值

梯形螺纹牙型角 α	车刀径向前角 γ_o	车刀牙型角 α_1
30°	5°	29°54′
	10°	29°38′
	15°	29°9′

2. 梯形螺纹车刀刀杆结构

在图 2-171b、c 中所介绍的刀杆结构同样适合车削梯形外螺纹。车梯形内螺纹可参考图 2-187 所示的车刀形式，当车削较细长梯形内螺纹时，刀杆结构如图 2-190所示，它解决了因刀杆细长而刚性差的问题。图 2-190 中，将过渡套和铜套装进车床主轴锥孔内。将穿心轴通过工件孔插入铜套内，穿心轴右端与刀杆依靠燕尾件（燕尾件角度以 75°~80°为宜）连接在一起。在穿心轴上开出螺旋油槽，以保证其与铜套间的润滑，减小穿心轴在轴向移动时的摩擦阻力。

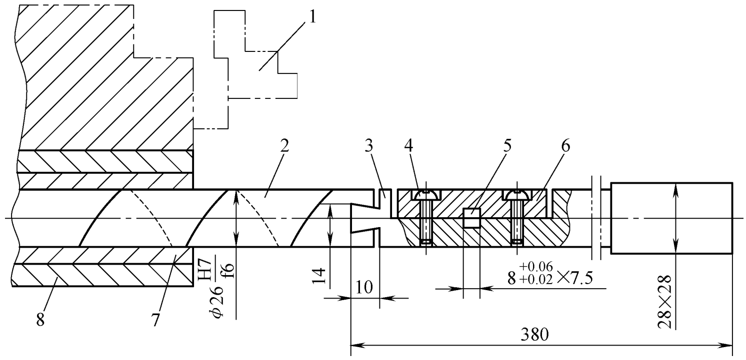


图 2-190　较细长梯形内螺纹车刀刀杆结构

1—卡爪　2—穿心轴　3—刀体　4—螺钉　5—装刀孔　6—压板　7—铜套　8—过渡套

加工时，工件通过自定心卡盘的卡爪装夹，车刀安装在刀体的方孔中，拧紧螺钉，通过压板将车刀夹紧，并注意调整车刀刀头的高度与车床主轴中心相一致。由于在切削时刀体和穿心轴均不转动，只是通过燕尾件连接使刀杆既可轴向进给，又能径向进给。穿心轴在铜套支承下，大大加强了刀杆的刚度，防止了刀杆振动和颤动，保证了车削质量。

3. 梯形螺纹工件车削示例

被加工工件是2000mm长的梯形螺纹丝杠，材料为45优质碳素钢，要求弯曲程度在500mm内不超过0.03mm。在丝杠全长上，螺距累积偏差不超过0.06mm，螺纹表面粗糙度 Ra 值达3.2μm。加工情况如下：

1）先进行毛坯的一般粗加工，去掉外圆上的黑皮。正火清除内应力（在有条件的情况下，可将丝杠在炉内垂直加热）。

2）半精车和精车丝杠大径。

3）粗车螺纹。螺纹小径留半精车余量0.15~0.25mm，螺纹两侧留半精车余量0.3~0.4mm。

在高速车螺纹时，为了防止产生金属挤压变形和损伤跟刀架的爪，可以先用高速钢车刀低速切出一条槽面，槽面宽可比螺纹面宽小0.1mm，深0.5mm左右，并在左端切出退刀槽。

粗车梯形螺纹使用的车刀如图2-191所示。刀片为YT15硬质合金。车刀的前、后面要用磨石研磨光洁。车削用量为：螺距在6mm以内时，主轴转速 $n=600\text{r/min}$。当螺距较小时采用的进给方式为直接径向进给（图2-192a），采用不同刀尖宽度的螺纹车刀，分别进行粗车和精车，如图2-192b所示。螺距在6mm以上时，主轴转速 $n=350\text{r/min}$，背吃刀量 $a_p=0.2\sim0.4\text{mm}$。

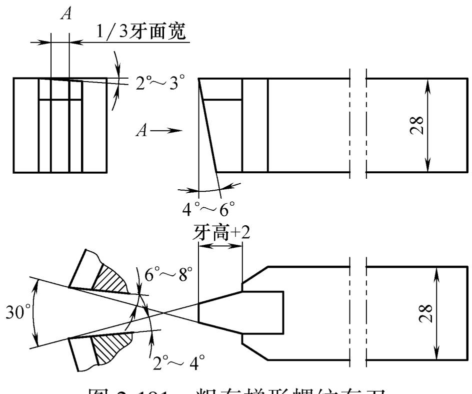


图2-191 粗车梯形螺纹车刀

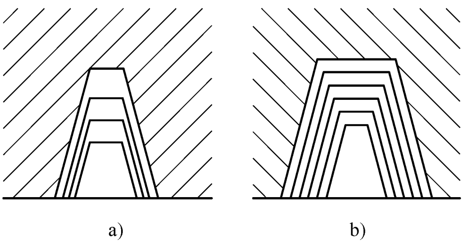


图2-192 车梯形螺纹进给方式

a）直接径向进给 b）用不同宽度车刀分别切削

4）半精车螺纹。螺纹小径留精车余量0.1mm，螺纹两侧留精车余量0.15~0.2mm。

先将螺纹底部半精车，然后半精车与进给方向相反的 a 面，如图2-193所示，因为 a 面比 b 面难车削（以右旋螺纹为例），而且，它在车床开合螺母有间隙的一侧产生切削力，容易引起振动，影响螺纹表面粗糙度。

半精车时仍可使用图2-191所示的车刀。

5）检查丝杠弯曲程度。若丝杠的弯曲程度超过公差，应进行调整。

6）精车螺纹。先精车螺纹小径，接着加工 a 面，再以小于齿深的齿形样板检

查螺纹的角度，最后加工 *b* 面，并用成品样板或专用量具检查。

精车螺纹时使用图 2-194 所示的高速钢梯形螺纹车刀，切削前使用磨石将前面和后面研磨至表面粗糙 *Ra* 值在 0.4μm 以下。所选用切削用量为：主轴转速 $n=20\sim30$r/min；精加工两侧时，进给量 $f=0.05$mm/r。

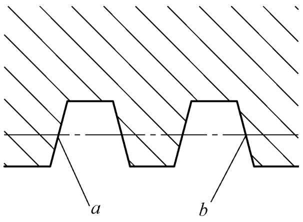


图 2-193　螺纹的 *a* 面和 *b* 面

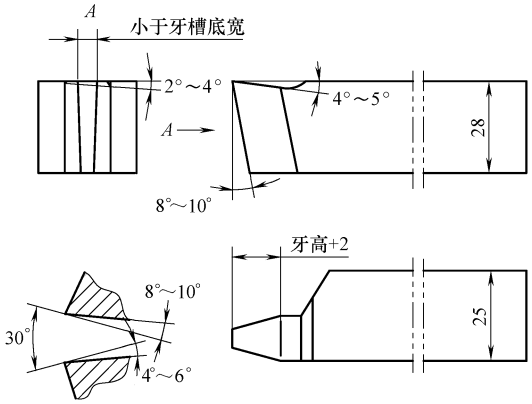


图 2-194　高速钢梯形螺纹车刀

操作过程中应注意以下事项：

1）应使用三爪跟刀架，并在跟刀架爪与工件之间加铜质套，可取得好的加工效果，如图 2-195 所示。跟刀架爪的宽度最好为 30～35mm，最好用铸铁制成。

2）车削不同直径的丝杠时，往往会因跟刀架爪的圆弧半径和工件半径的不一致，形成图 2-196 所示的单点接触或双点接触，而影响加工质量。这时，可在粗车

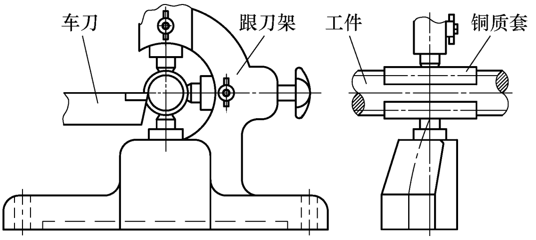


图 2-195　车丝杠使用跟刀架和铜质套

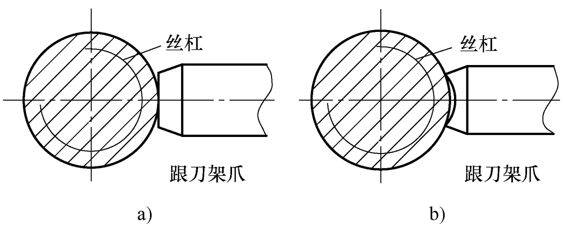


图 2-196　跟刀架爪与工件接触不良

a）单点接触　b）双点接触

后，把跟刀架的爪轻轻地压紧在工件表面，以600r/min以上的转速走一段距离，用与工件相同直径的研磨棒来研磨爪的圆弧，以保证有良好的接触面，提高加工质量。

3）车削过程中，用肥皂水或乳化液充分冷却，并作为跟刀架爪和工件间的润滑剂。

4）长度1000mm以下的丝杠，可以用前顶尖与拨盘进行装夹；长度1000mm以上的丝杠，一般是用一夹一顶的方法安装。

5）尾座处应使用精度较高的回转顶尖，操作中要经常检查和调整顶尖的松紧程度，不要用力过大，防止丝杠产生弯曲变形。

车削较细长丝杠工件上的梯形螺纹前，要进行除应力处理。除应力处理这一工序很关键，它关系到工件变不变形的问题。由于被加工丝杠较长，往往需要几个工作日才能完成，因此在加工过程中注意不要长时间停机，否则，工件在自身重力作用下会下沉而发生弯曲。在加工过程中，忽略任何一个细节都难以达到技术要求。

4. 梯形螺纹车削中的质量控制

（1）解决螺纹表面的波纹问题　车削螺距较大的梯形螺纹时，往往是左侧面比较光洁，而右侧面（图2-197）则不同程度地存在波纹，这不仅会影响螺纹的精度，也会降低其使用寿命。

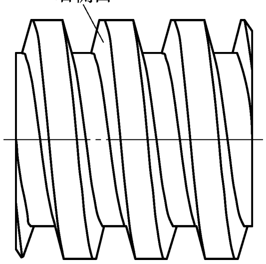


图2-197　梯形螺纹的侧面

螺纹表面产生波纹是由于工件或车床的刚性差、切削中产生振颤或爬行以及车刀刃磨精度差等方面的原因引起的。此外，还有一个重要因素就是车床丝杠与螺母传动轴向接触过程中，车刀受到进给力，即加工右旋螺纹时，长丝杠旋转带动螺母，溜板向主轴方向运动，这时，长丝杠与螺母的右轴向间隙被消除，这在车削螺纹右侧面时，进给力不能微量调整。因此，车刀与主轴和螺纹右侧面产生一种综合性进给力，而引起强迫振动。为了消除这方面因素的影响，在精加工较大螺距的梯形外螺纹时可采用单面切削法，利用车床正转正向进给，切削螺纹的左侧面，如图2-198a所示；利用车床反转反向进给（螺纹车刀反向安装），切削螺纹的右侧面，如图2-198b所示。这样就可消除螺纹右侧面的波纹。

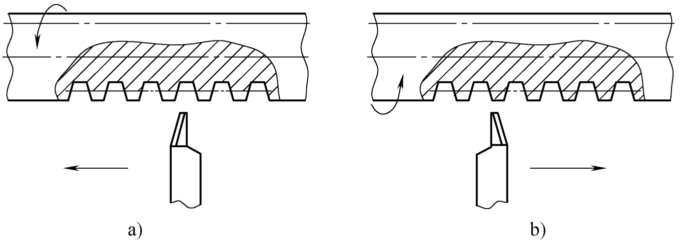


图2-198　分别切削梯形螺纹两侧面

a）切削螺纹左侧面　b）切削螺纹右侧面

加工内螺纹时，若仍然采用上面的两次对刀形式，操作起来就很困难，这时，可采用图 2-199 所示内螺纹车削工具。当切削内螺纹右侧面时，由切削产生的进给力，经由刀杆压缩弹簧，在主体上做轴向移动，它不仅降低了螺纹表面粗糙度值，而且易于保证螺纹的角度和尺寸精度。

使用图 2-199 所示车削工具时，切削速度可选 $v_c=1.5\sim6\text{m/min}$；精加工时背吃刀量 $a_p=0.2\text{mm}$，粗加工时 $a_p>0.2\text{mm}$。车削前严格做好对刀找正工作，有条件时，可使用对刀显微镜刃磨安装车刀。

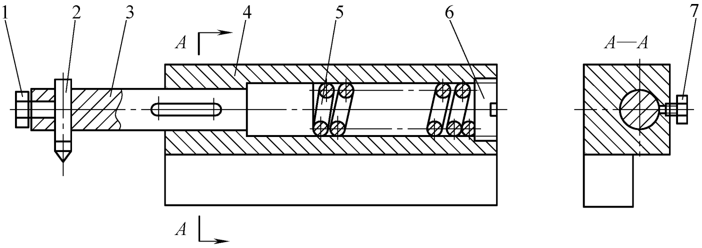


图 2-199　内螺纹车削工具

1—紧固螺钉　2—刀头　3—刀杆　4—主体　5—弹簧　6—螺塞　7—定位螺钉

（2）解决梯形螺纹工件单螺距超差问题　较精密长丝杠工件，其单螺距公差要求也比较严格。如某丝杠的梯形螺纹长度为 5100mm，外径为 80mm；螺距误差：单螺距公差为±0.012mm，300mm 内累积误差不得大于 0.035mm，丝杠全长内累积误差不得大于 0.08mm。

由于该工件较长，装夹后丝杠中点下沉达 20～30mm。为了在切削过程中消除变形和减小振动，在床身上安装了固定中心架和跟刀架。固定中心架在加工时影响溜板的通过，为此采取先将丝杠的半段加工好，再将丝杠调头，加工另一段的办法。利用这种方法加工出的丝杠精度较差，单螺距误差在 0.015～0.025mm 之间，个别可达 0.03mm（不合格的螺纹在丝杠全长上分布没有规律）。特别是调头的接刀处单螺距误差可达到 0.08mm，超过了规定值的 5 倍。

为解决单螺距超差问题，可采取以下措施：

1）接刀处的单螺距超差主要是由于工件调头接刀加工造成的，为此最根本的办法是不接刀。这时，可取消固定中心架，而以可移动的中心托架代替，其结构如图 2-200 所示。托架体 1 的底面和车床导轨相配合，托架体中放有顶杆 2，顶杆靠手把 6 提起，由弹簧定位销 9 定位。不使用时，用手拉出弹簧定位销，顶杆因自重而自动落下。此托架共有两个，分别放在溜板左右的导轨面上。加工开始时，左托架支承住丝杠的前中部，右托架推向尾座暂时不用。加工中，当车刀靠近左托架时，先把右托架移至中间支起，同时把左托架搬走。

为了满足切削中的刚度要求，可取消原跟刀架，而以图 2-201 所示的双耳跟刀

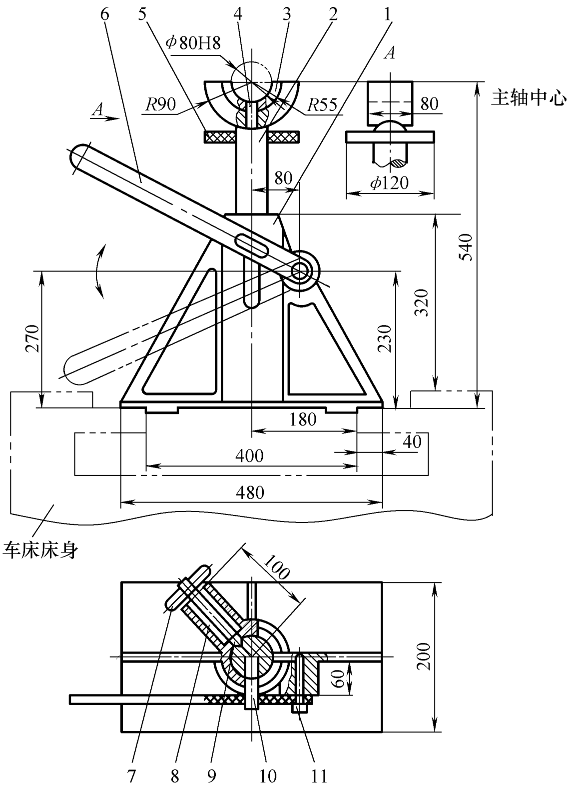


图 2-200　可移动中心托架

1—托架体　2—顶杆　3—可换衬套　4、11—螺钉　5—橡皮圈
6—手把　7—销轴　8—弹簧　9—弹簧定位销　10—小轴

架代替。这种跟刀架定心好，受力大，稳定可靠，只经一次装夹便可完成丝杠在全长内的切削。采用以上措施，由接刀而造成的螺距误差可以被消除。

2）为了解决单螺距超差的问题，控制螺纹牙型半角是很重要的，正确地安装车刀，并做好对刀工作是解决单螺距超差过程中不可忽视的环节。图 2-202 所示是使用 V 形块式对刀板的对刀情况。它以 V 形面作为基准面，将其跨到工件上，使螺纹车刀的刀尖准确地落入角度样板的槽中，以找正螺纹车刀的位置。制作该对刀板时，注意使对刀槽中线（两半角相等）垂直于 V 形块上的 V 形面。

对于很精密的螺纹，在对刀时可使用下面的方法：不需要使用对刀板，而是将螺纹车刀的一个侧面作为刃磨车刀和对刀中的统一基准。将螺纹车刀的侧面在平面磨床上磨出来，然后刃磨车刀的角度，这时以磨出的侧面定位，并用标准角度块规或正弦规来找正车刀角度，这样刃磨出来的车刀刀尖角半角误差可控制在±5′以内。刃磨中，可把砂轮上下运动的滑板搬成与车刀后角相等的角度，以同时将车刀的后角磨出。

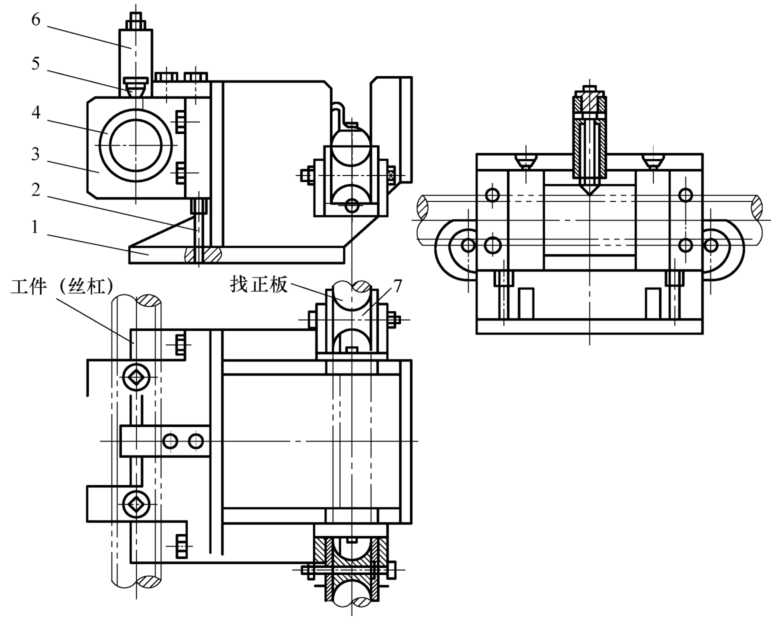


图 2-201　双耳跟刀架

1—刀架体　2—支承螺钉　3—丝杠支承架　4—可换定位套　5—油杯　6—顶爪　7—找正板托轮

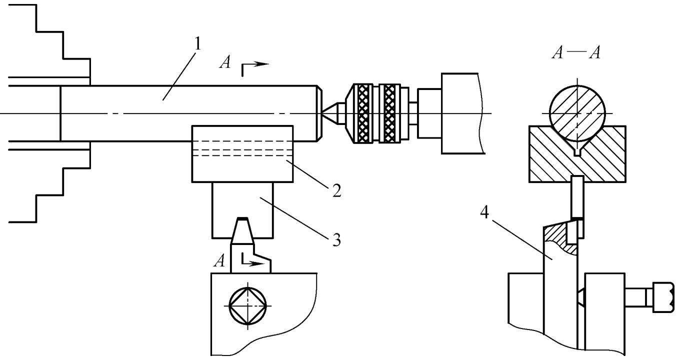


图 2-202　使用 V 形块式对刀板找正车刀位置

1—螺纹工件　2—V 形块　3—对刀板　4—螺纹车刀

螺纹车刀角度磨出后，在溜板上放上千分表，千分表测杆与车刀侧面（基准面）接触（图 2-203），摇动中滑板，观察千分表读数，并调整车刀侧面，直至表针无摆动为止，这样，车刀位置就准确了。利用这种方法对刀，车出的螺纹半角误差可控制在±10′以内。

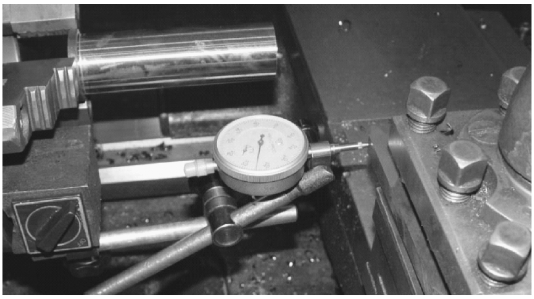


图 2-203　车精密螺纹对刀方法

3）为了保证工件螺距误差在允许范围内，必须严格保证梯形螺纹车刀上的几个切削刃的直线度，并使用磨石仔细研磨光洁。

4）要保证车床丝杠的清洁，加工前必须认真清洗，切不可沾污油腻、切屑。

一般说来，螺纹单螺距精度主要取决于加工方法，此外，与车床丝杠的精度、传动齿轮的误差和工件自身系统的刚性等都有很大关系。如果发现个别螺距超差，可用最细的金刚石粉，利用铸铁螺母进行研磨。这是一种补救措施，但不宜过分依赖它。

（3）梯形螺纹齿顶毛刺的控制　使用硬质合金车刀高速车削梯形螺纹的过程中，由于受到工件断面的限制，在刀具挤压下，螺纹齿顶转角处会产生较大的毛刺。对刚性较好的短丝杠，一般不加跟刀架，可在精车前增加一次进给，将毛刺去除。对刚性较差的长丝杠，齿顶毛刺的存在将对切削过程及工件精度产生不良影响。例如：齿顶毛刺会破坏跟刀架支持爪的工作表面，使其划出很深的沟纹；齿顶毛刺与跟刀架支持爪工作表面的相互作用所产生的碎末及细屑会挤压在相互表面间，既加剧了支持爪的磨损，也破坏了丝杠外圆表面的光洁；齿顶毛刺与跟刀架支持爪工作表面间的摩擦及受力情况不稳定，容易引起振动，特别是齿顶毛刺的产生使工件的实际直径尺寸，超过了最初调整跟刀架时的工件直径，因而在跟刀架的作用下，工件发生横向弯曲。当支持爪工作表面被磨出沟纹后，工件与支持爪工作表面之间出现间隙，破坏了彼此的良好接触，使切削过程出现振动或工件发生弯曲变形，甚至导致切削无法进行。

消除上述弊病的关键是控制齿顶毛刺的产生，合理地分配加工余量与合理地选择切削图形，是限制齿顶毛刺产生的简易办法。

在高速车削丝杠时，车刀的左右两侧刃与顶刃同时参加切削，其切削图形如图2-204所示。这时，由于刀具两侧刃每次都要切削工件外圆表面的金属，随着进给次数的增多，齿顶毛刺的高度会越来越大，如果采用图2-205所示的切削图形，可以大大降低齿顶毛刺，甚至可消除。其具体切削方法如下：

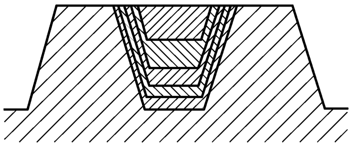


图2-204　高速车丝杠切削图形（一）

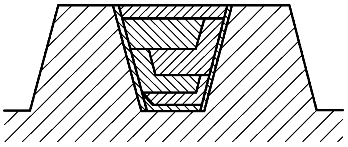


图2-205　高速车丝杠切削图形（二）

第一次进给：使用刃磨得十分锋利的宽刃车刀，切出深度为0.3~0.5mm的宽槽。由于切削刃锋利，背吃刀量较小，所以齿顶毛刺很小，甚至没有。确定车刀宽度时，应保证螺纹齿侧单面有0.1~0.2mm的精车余量。

第二次进给：换用梯形螺纹车刀。在进给时，应保证车刀的一侧刃切出的表面与宽刀同一侧刃切出的表面相重合。

第三次进给：背吃刀量与第二次进给相同，刀具的另一侧刃切出的表面，也应与宽刀切出的侧面重合。

根据同样的方法循序进给。最后一次精车进给，应去除剩余的精车余量。采用这样的切削方法，除第一次进给和最后精车进给外，负荷较大的几次进给，车刀侧刃都不直接切削工件的外圆处，即使有毛刺产生，也不会超出第一次进给所切出的槽深。精车余量较小，工件加工完成后，所产生的齿顶毛刺很不明显。

实践证明，采用上述方法高速车削丝杠，可以消除齿顶毛刺与跟刀架支柱爪工作表面所产生的影响，使切削变形和残余应力减小，切削过程平稳，工件的精度较高，表面粗糙度值较低。

2.5　深孔加工

深孔是指孔深（L）与孔径（d）之比大于 5 的孔。深孔又分为一般深孔（L/d >5～20）、中等深孔（L/d >20～30）、超深孔（L/d >30～100）三类。不同类型的深孔其加工方法也不相同。

深孔加工包括钻深孔和车削深孔两部分。深孔加工之所以困难，是因为刀具细长、刚性差，孔的形状精度不易保证；孔的深度较深，因此，冷却及排屑极不顺畅；切削温度不易下降，而造成刀具的磨损、损坏加剧且不便于观察加工情况。因此，深孔加工需要解决的关键问题是正确选择、使用深孔刀具，以合理的压力和流量输送切削液，保持切削稳定和良好的排屑状况。

2.5.1　深孔加工的特点和关键技术

深孔加工的技术难度较大，而且是孔径越小、孔深越深、精度和表面粗糙度要求越高的孔，加工难度越大。深孔加工的特点与孔径、孔深有密切关系，主要是：

使用的刀具受加工条件的限制，刚性和强度均比较差，钻孔时容易引偏而造成孔的轴线歪斜，车削时则因刀杆细长，容易让刀，出现尺寸和几何误差。

刀具在孔的纵深部位切削，切削液很难顺利进入切削区域，散热条件也较差，从而导致切削温度升高，刀具寿命下降。

刀具切下的切屑因排出困难而堵塞于孔内，致使已加工表面被划伤，同时还可能引起刀具崩刃甚至折断。

所以，深孔加工需要解决的关键技术可归纳为深孔刀具几何形状的确定和切削时的冷却、排屑问题。

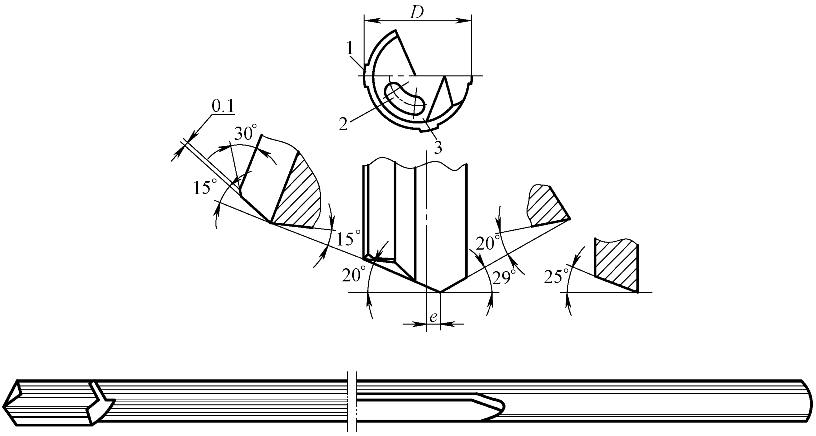
普通麻花钻和一般内孔车刀，显然已不能适应深孔加工的需要，因而应选用切削效果较好的内排屑、外排屑深孔钻、喷吸钻、深孔镗刀、浮动镗刀、浮动铰刀等深孔加工刀具；注意控制切屑的形状并促使其容易折断；采取措施使切削液有一定压力，保证切削区域内得到充分冷却、润滑，并产生喷射效应而有利于排屑；正确

解决导向问题，减少振动的发生，保证孔的直线度和表面粗糙度，防止刀具损坏。

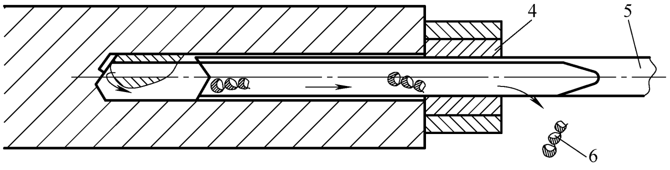
2.5.2 深孔加工刀具

1. 单刃外排屑小深孔钻

（1）结构特点　图2-206所示为单刃外排屑小深孔钻（即枪孔钻）。该深孔钻由切削部分和钻杆焊接而成，切削部分用W18Cr4V制造或硬质合金刀头镶制，钻杆为35~45钢无缝钢管，上压120°V形槽用以排屑，中空可通过切削液自切削部分腰圆孔2进入切削区域。其主切削刃由外刃、内刃两部分构成，交点为钻尖。



a)



b)

图2-206　单刃外排屑小深孔钻

a）外形及几何参数　b）排屑情况

1、3—棱边　2—腰圆孔　4—导向套　5—进切削液　6—出切屑

钻尖与钻杆轴线之间存在一偏移量 e，有利于保证钻入孔内定心导向及控制切屑排向钻心处，以减小与孔壁的摩擦。e 一般为 0.2~0.3D（或取 $D/4$，D 为钻头直径）。过大，钻头支承区与孔壁的摩擦加剧，孔壁易被拉毛，切削热量也将增大；过小则导向性变差，钻削不稳定，容易振动并影响加工精度。棱边1和3在钻削时用以承受切削力，同时也具有导向作用。

（2）适用范围　该深孔钻适合钻削 ϕ3~20mm 的深孔，精度达IT8~IT10，表面粗糙度 Ra 值达 1.25~5μm，孔的直线性也较好。

技能大师经验谈：

1）引钻时钻头容易摆动，定心差，应预钻60°浅孔或按图2-206所示增加导向套4。

2）钻杆细长易变形，溜板或刀架上应装有活动支承来支持钻杆。

3）工件须先找直，减小离心力的影响，保证钻削顺利进行。

4）随时注意排屑情况，若有阻塞，应立即退出钻头，清除切屑。

5）切削用量：$n = 3000\text{r/min}$，$f = 0.01 \sim 0.02\text{mm/r}$。切削油压力为6.5MPa、流量为18L/min，并保持稳定。

6）外排屑深孔钻易出现的故障及其排除见表2-8。

表2-8　外排屑深孔钻易出现的故障及其排除

故障现象	产生原因
排屑不顺利	切削液系统漏液；刀具几何形状不对；切削液太稠；液压泵损坏；液压系统的设计不当；进给量过大
切屑的形成不良	几何形状不对；钻头太钝；切削液压力不恰当；工件线速度太低、材料质量不均匀
钻头损坏	钻头外刃口磨损过度；进给不正常；切屑排不出，钻头倒锥过小；机床、刀具对准不良；切削液系统损坏；进给量太大或太小；主轴端面窜动太大；刀具材料不好
侧面过度磨损	切削液压力不恰当；钻头容屑间隙不恰当
刀具寿命低	刀具伸出太长；切削液温度太高；机床、刀具对准不良；几何形状不对；切削液压力不恰当；工件速度太高或进给量太大；切削液不对，硬质合金牌号选取不对；切削液过滤不好；进给量不合适
孔的对准不良	机床、刀具对准不良；钻头、衬套尺寸超差；进给量太大，引起钻杆弯曲
孔圆度超差	机床、刀具没有对准；刀具几何形状不正确，对薄弱工件夹紧力不适当
孔尺寸超差	钻尖角度或钻尖位置不对；钻头衬套磨损（喇叭口）；进给量太大
表面粗糙度值大	工件线速度太低；耐磨垫条的几何形状不对；切削液压力不恰当；切削液不对；机床、刀具对准不良；进给量过大；切削液过滤不好；钻头衬套孔过大；振动；刀具材料不均匀

2. 错齿内排屑深孔钻

（1）结构特点　图2-207所示为错齿内排屑深孔钻。该深孔钻刀头使用35CrMo制成并经热处理调质至350HBW，刀片装夹采用可转位结构，其上装有不同牌号的硬质合金刀片1，钻杆为无缝钢管制作，刀头与刀杆以浅矩形螺纹连接。切削液由钻头及孔壁之间进入切削区域，再和切下的切屑一起经钻杆孔排出。

两主切削刃采用不对称、分段、交错排列的形式，其优点主要有：能保证可靠地分屑；克服了整体硬质合金刀具较难控制几何角度的缺点；可根据具体的切削状况，选用不同牌号的刀片（钻心部切削速度最低，使用韧性好的YG8刀片，外缘处切削速度较高，则选用耐磨性能较好的YT15刀片），有利于充分发挥刀具的切

削效能。此外，由于此种深孔钻未采用焊接工艺，减小了热应力，避免刀片产生裂纹，因而延长了使用寿命。

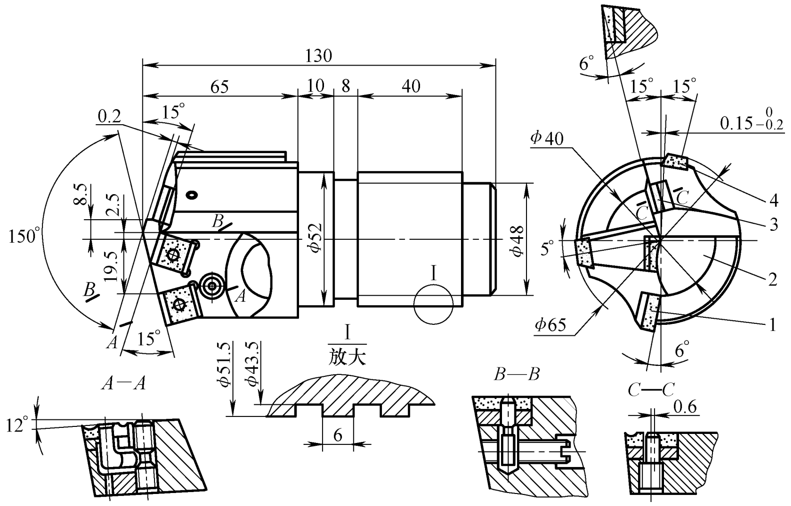


图 2-207　错齿内排屑深孔钻

1—刀片　2—内刀片　3—中刀片　4—导向块

错齿内排屑深孔钻的内刃钻尖与轴线的偏移量为 8.5mm，采用 YW2 硬质合金制成的斜楔式圆弧导向块 4，有利于防止钻孔偏斜，而且导向块还可承受钻削中位于中刀片 3 下面的承受主切削刃的主切削力，内刀片 2 侧面承受主、副切削刃的径向切削力，两导向块的夹角为 100°，可避免钻头直径磨损后因导向块卡住钻头而扭坏。

（2）适用范围　错齿内排屑深孔钻适合于直径为 20~60mm 的深孔加工，精度可达 IT8~IT10，表面粗糙度 *Ra* 值为 2~5μm，孔的直线度误差为 0.25mm/1000mm，能成数倍地提高钻孔效率。

技能大师经验谈：

1）钻孔前应先预钻浅孔或使用导向套，防止深孔钻定心不良而摆动。

2）除工件旋转外，有条件时，使刀具也做旋转运动，有利于保持钻杆进给直线运动的稳定性。同时，应尽可能地保证钻杆中心与工件回转中心重合。

3）调整进给量，使之与刀具前面断屑槽相匹配，控制切屑成小块 *C* 字形，便于排出。

4）导向块所在圆的直径，应比钻头实际尺寸略小 0.03~0.05mm。

5）切削用量：v_c=60~90m/min，f=0.12~0.15mm/r。采用切削液并根据孔径大小调整其压力和流量，通常压力为 1.2~1.5MPa，流量为 50~400L/min，且供液箱的密封性要好。

6）内排屑深孔钻的故障及其排除见表 2-9。

表 2-9　内排屑深孔钻的故障及其排除

故障现象	产　生　原　因	故障现象	产　生　原　因
切屑太碎	断屑槽太短或太深，断屑槽半径太小	硬质合金刀片损坏	工件材料均匀性差 进给量不正确 切削液污染 工件或刀片及磨损垫条间的化学亲和力强
切屑太大	断屑槽太长或太浅，断屑槽半径太大	刃具寿命太短	切削速度太高或太低 进给量过大 硬质合金牌号选取不当 导向垫条磨损过度 导向衬套磨损过度 切削液温度过高 切削液的类型不对
不规则的切屑形状	工件材料均匀性差，进给机构有问题		
细条状切屑	断屑槽几何形状有问题 进给机构有问题 工件材料不均匀		
切屑焊接	切削液被细末污染 工件和刀具材料之间的化学亲和力强 切削刃口崩缺 工件线速度太高	表面粗糙（没有过大的振动）	故障原因的大部分如上列 对准不正确 断屑槽离中心线太上或太下 刀片或耐磨垫条几何形状不对
钻头损坏	进给太快 用手进给取代自动控制	表面粗糙（有过大的振动）	对准不正确 工件弯曲
硬质合金刀片损坏	刃口太钝 切削液牌号选取不当 断屑槽太长或太浅	喇叭口孔	衬套尺寸超差或对准不正确

3. 喷吸钻

（1）结构特点　喷吸钻切削部分的结构、几何参数等均与错齿内排屑深孔钻相似（图 2-208），主要是钻杆结构和排屑原理不同。

喷吸钻钻杆由内管 2、外管 3 两部分组成，如图 2-209 所示。钻头体一般采用 45 钢制作，并以多线矩形螺纹与外管连接，内管尾端制有两排间距为 5mm 且向前倾斜 30°的月牙孔 6。每排沿圆周方向布孔 3~4 个，互不相连，两排错开一个孔位排列，共同组成首尾搭接的封闭环状。

具有一定压力的切削液从进液口 K 进入弹簧夹头 4 中，其中 1/3 经内管尾端四周缝隙较窄的月牙孔 6 喷入内管孔，并在倾角的作用下产生向后的喷射效应。切削液向后喷射时，因抽吸去管内部分空气而造成一低压区。另外 2/3 切削液则从内、外管之间经过钻头颈部小孔 7 雾状喷出至切削区域。

由于进入切削区域的切削液具有相当压力，而内管尾端又存在一低压区，故孔内前后两端存在着很大的压差。在一压一吸的作用下，切屑进入内管，迅速向后排出并带走了切削热，因此能达到改善钻孔时的工作条件、提高效率的目的。

（2）适用范围　此喷吸钻适于加工 ϕ20~65mm 的一般深孔，精度可达 IT8~

IT10，表面粗糙度 Ra 值为 0.32~5μm。孔的直线度较好，能达到 0.1mm/1000mm。生产率较麻花钻提高了 5~10 倍，也高于一般外冷却内排屑深孔钻，而且适用范围广，操作、调整比较方便、安全，切削液也不会四处飞溅。

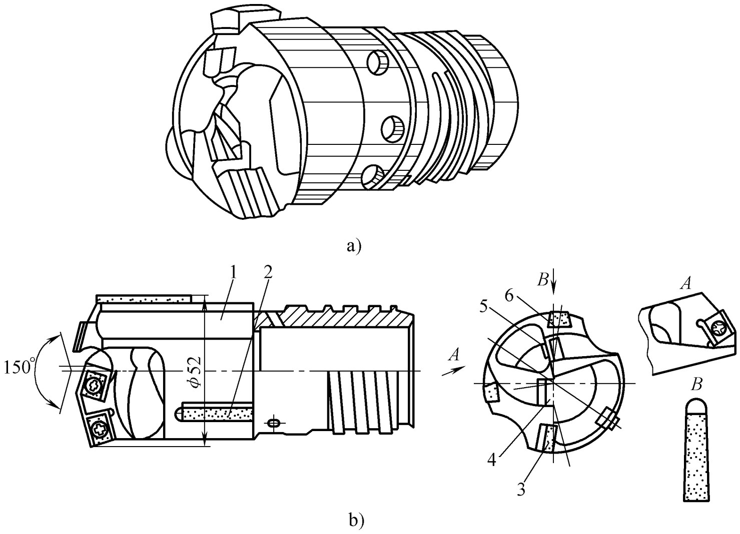


图 2-208　喷吸钻

a）切削部分外形　b）基本结构

1—钻头体　2—导向块　3—外刃刀片　4—内刃刀片　5—中刃刀片　6—螺钉

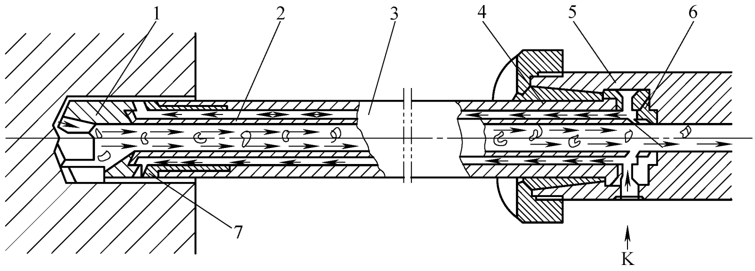


图 2-209　喷吸钻的工作原理

1—钻头　2—内管　3—外管　4—弹簧夹头

5—刀杆　6—月牙孔　7—颈部小孔

技能大师经验谈：

1）切削液为乳化液，压力要适当（一般为 0.8~1.2MPa）。若压力过小，切屑不易排出，而导致内管阻塞；若压力过大，又易使内管出口处变形，影响喷吸性能。流量为 50~100L/min 较为合适。

2）为防止钻头扭动，应增加导向套（图 2-210）及其他附件。

3）切削用量：$v_c = 100 \sim 120$m/min，$f = 0.15 \sim 0.20$mm/r。

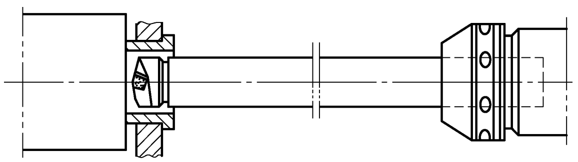


图 2-210　喷吸钻的导向套

4）内刃刀片应具有 3°刃倾角，刀尖须低于中心 0.2mm。

5）断屑槽参数一般为：宽度 $B=1.4\sim2$mm，深度 $h=0.4\sim0.5$mm，连接圆弧半径 $R=$（0.8±0.1）mm 并应光整圆滑，断屑槽与切削刃的倾斜角为 2°左右。同时需通过切削试验视断屑效果最后确定。

6）钻削深孔时，若沿钻头圆周放置四块导向块，将有助于提高钻头刚性，增强阻尼作用，既减小振动，又对孔壁有一定的压光作用。导向块应具有 0.01/100 的倒锥，以免擦伤工件，出现螺旋线痕迹。

4. 深孔车刀

（1）结构特点　深孔车刀与一般内孔车刀的不同之处是，前后均带有导向垫。前导向垫 4 由两块硬质合金组成，其轴向位置在刀尖后面 2mm 左右，径向则应低于刀尖 0.05~0.1mm，这样可使车刀在切削力作用下略有让刀的余地，而不致损伤孔壁。后导向垫 6 由四块硬质合金构成。导向垫有利于保证孔的精度和直线度，如图 2-211 所示。

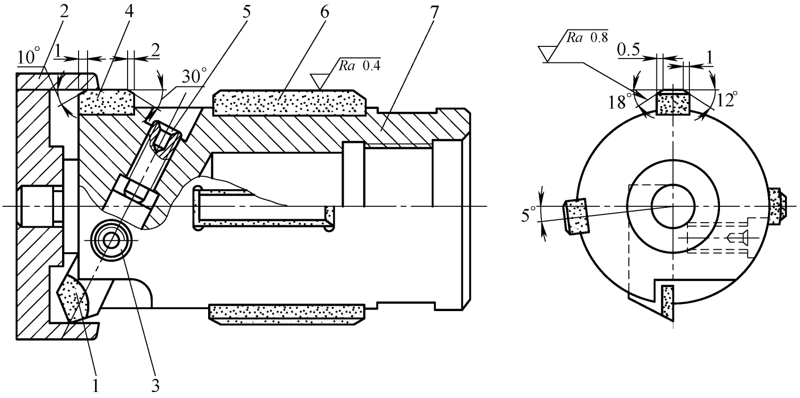


图 2-211　深孔车刀

1—刀头　2—对刀规　3—紧固螺钉　4—前导向垫　5—调节螺钉　6—后导向垫　7—刀套

固定式前后导向垫通常用于小孔，装配式则用于大孔。

深孔车刀的刀头 1 以矩形螺纹与刀杆连接。刀尖的空间位置用调节螺钉 5 调整后由紧固螺钉 3 锁紧。

（2）适用范围　深孔车刀用于精度、表面粗糙度要求不是很高的深孔加工。

技能大师经验谈：

1）深孔车刀对断屑槽的尺寸要求较高，保证切屑成“C”字形折断，并采用前排屑方式，稳定地排出孔外。

2）按顺进给方向进行推镗，使工件的安装、尺寸的调整较为方便，有利于提高效率。

3）须使用对刀规调整镗刀尺寸，保证镗刀与导向垫、刀套的尺寸一致。若镗刀尺寸较导向垫、刀套尺寸小，则内孔会出现竹节形误差。

4）车孔与钻孔使用的刀杆一致，可减少更换、调整刀杆的辅助时间。

5）切削用量：对于钢料零件，$v_c=10\sim20\text{m/min}$，$f=0.08\sim0.2\text{mm/r}$；对于铸铁零件，$v_c=12\sim25\text{m/min}$，$f=0.1\sim0.25\text{mm/r}$。

5. 深孔浮动铰刀

深孔浮动铰刀加工精度和生产率均较高，适用于批量生产。

浮动铰刀块装于刀杆的刀槽内保持滑动配合，间隙在 0.02mm 以内。刀槽的制作要求也较高，刀槽对刀杆轴线的对称度及刀槽侧面和底面与轴线的垂直度误差均不得超过 0.02mm。刀块尺寸可以调整。

如图 2-212 所示，浮动铰刀装有四块导向垫 4，其前端的导向部分 a 直径尺寸比镗孔后的孔径小 0.08 ~ 0.1mm，后端 b 的直径尺寸则比铰刀尺寸小 0.08 ~ 0.1mm。导向垫的尺寸可以是固定的（用于铰削一种尺寸），也可以是可调式的（适用于铰削多种尺寸）。其制作材料，一般铰削采用硬质合金，精铰则使用夹布胶木（或白桦木），这些材料具有一定的弹性，可避免擦伤孔的表面。

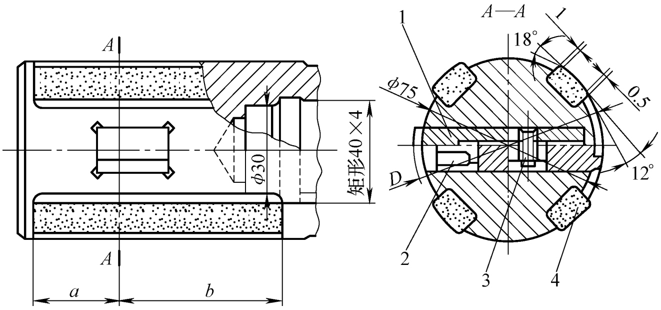


图 2-212　深孔浮动铰刀

1—刀头　2—调节螺钉　3—紧固螺钉　4—导向垫

由于刀块的浮动，使其有较好的对中性，能消除机床、刀具误差而引起的孔径尺寸不稳定的弊病。

技能大师经验谈：

1）浮动铰刀可以提高孔的尺寸精度和表面质量，但不能改变坯孔的几何精度，故半精车时即应使孔的直线度和同轴度达到图样要求。

2）不宜加工有较大不圆整缺陷的工件。

3）更换深孔加工刀具时，必须注意更换相应的导向套。

4）使用硬质合金浮动铰刀精铰，表面粗糙度 Ra 值可达 3.2μm 以下，圆柱度、圆度误差不大于 0.02mm。

5）可调式导向垫前端直径与孔紧配，后端直径略大于铰刀尺寸，进入孔内即自行磨除，以保持较准确的导向精度。

6. 小直径深孔铰刀

（1）结构特点　切削刃口处磨出较大的正前角（$\gamma_o = 5°$）和刃倾角（$\lambda_s = 20° \sim 30°$），且铰刀有供切削液流入切削区域的小孔，可保证切屑随切削液顺利排出。铰刀切削部分的切削刃间隔被磨去，因而增大了容屑空间；找正部分仍保持原有的切削刃数，修光刃后面具有 0.3mm 宽的刃带，可找正并压光孔壁，表面粗糙度 Ra 值可达 1.6μm，如图 2-213 所示。

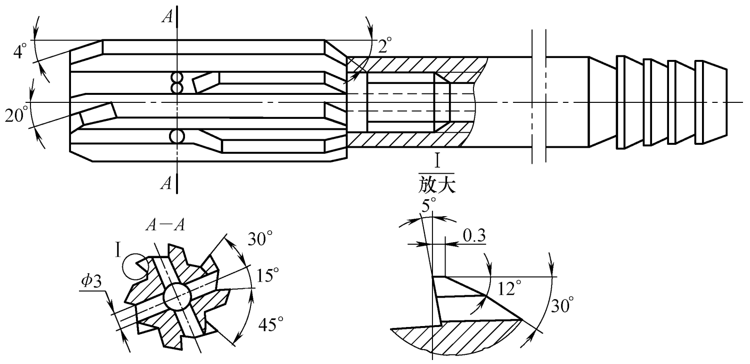


图 2-213　小直径深孔铰刀

（2）适用范围　该铰刀适合于 ϕ20～25mm、IT7 级精度小深孔的最后精加工。

技能大师经验谈：

1）铰刀的切削部分较短，不能矫正已经出现的直线度误差，故铰孔前的粗加工、半精加工须保证孔的直线度达到要求。

2）安装铰刀时应注意铰刀轴线与孔的轴线必须重合。

3）切削用量：$v_c = 4 \sim 12$m/min、$f = 0.2 \sim 0.4$mm/r。

7. 深孔珩磨工具

对于精度要求较高、表面粗糙度值小的细长深孔工件，在车孔后，还可使用珩磨方法来提高孔的尺寸精度和减小表面粗糙度值。珩磨头是由细磨粒磨条组成的，按照珩磨轴的布置分立式和卧式两种，在车床上使用的是卧式珩磨头。磨条的张开方式分为机械（一般用弹簧）和液压（用液压缸和活塞杆）两种，图 2-214 所示是前一种可调节珩磨头的结构。使用时，珩磨头以插口式接头与珩磨杆连接。珩磨头上的磨条是用粘结剂（或机械的方法）固定在磨条座上的，珩磨前用手扶正珩磨头，旋动调节套，使珩磨头外径缩小进入孔内，然后旋动调节调整珩磨量。

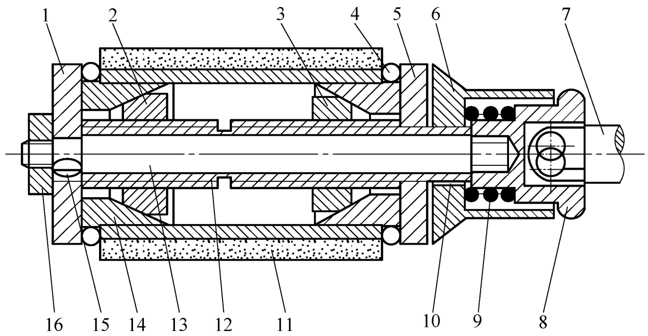


图 2-214　可调节珩磨头结构

1—前底座　2—前圆锥　3—后圆锥　4、9—弹簧　5—后底座　6—调节套　7—珩磨杆　8—接头
10、15—键　11—油石　12—螺纹套筒　13—中心轴　14—油石座　16—螺母

图 2-215 所示为珩磨头剖面简图，在垂直方向的两个磨条座上改装成木条，这样可以减轻珩磨头的重量，保证珩磨精度。

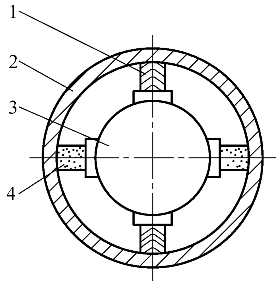


图 2-215　珩磨头剖面简图

1—木条　2—工件

3—珩磨头　4—磨石

磨条的材料应根据工件材料而定，珩磨铸铁工件时，选用黑色碳化硅磨料；珩磨调质钢料工件时，一般选用刚玉类磨料。粗珩磨时，磨条粒度为 F80～F100；精珩磨时，以表面粗糙度 *Ra* 值为 0.8μm 为例，磨条粒度为 F180～F240。

磨条的硬度一般在 ZR～ZY 之间。工件材料较软时采用硬磨条；工件材料较硬时采用软磨条。

8. 深孔滚压工具

用珩磨来精加工深孔虽可获得较好的表面质量和很高的精度，但是效率较低。可利用滚压方法来提高深孔的精度和表面质量，它的生产率可比珩磨提高若干倍。

孔的滚压加工可应用于直径为 6～500mm，长度在 5000mm 以内的钢、铸铁和有色金属工件。

（1）滚压加工的特点　滚压加工与切削加工相比较，有以下几方面特点：

1）可以获得较小的表面粗糙度值，一般可达到 *Ra*0.05～0.8μm，特别是对软金属（如铜、铝及其合金）可得到很光洁的表面。

2）可以强化金属工件的表面层，并保持金属纤维组织的完整。表面硬度可提高 5%～50%，表面硬化层深度一般可达 0.2～5mm 甚至更大；表层产生残余应力，有利于提高工件的疲劳强度。

3）可以增大工件表面的有效支承面积，提高工件的耐磨性，并可改善与其相配工件的配合特性。

4）滚压过程平稳，受力均匀，产生热量少，一般不产生表面退火、烧伤和裂

缝等缺陷。

5）滚压加工效率高，工具寿命高、较简单，便于实现加工自动化。

（2）滚压加工原理　滚压加工是一种压力光整加工，是利用金属在常态下的冷塑性特点，采用专用的滚压工具对工件表面层施加一定的压力，使工件表面层金属产生塑性流动，其结果是将工件表面原始残留下的凸起的微观波峰熨平，使其填入凹下的微观波谷内，从而改变表面微观波峰的分布状况，使表面粗糙度值减小。

（3）滚压工具　任何一种滚压工具都是由传递滚压力并保持滚压元件运动方向和位置的支承部分，以及与工件表面直接接触，起滚压作用的滚压元件部分组成的。不同的用途使用不同形状的滚压元件。滚压圆柱孔壁表面的滚压工具样式很多，下面介绍两种滚压工具。

1）滚珠式滚压工具。图 2-216 所示为弹性的可调节滚珠滚压工具，其滚压元件为钢球，在滚压过程中，由于滚压摩擦阻力的作用，钢球可以随阻力方向转动，因而滚压时钢球与工件之间只有滚动，不产生与工件表面的滑移，因此，在较小负荷下，能产生对工件较大的单位压力，使工件表面获得必要的塑性变形。

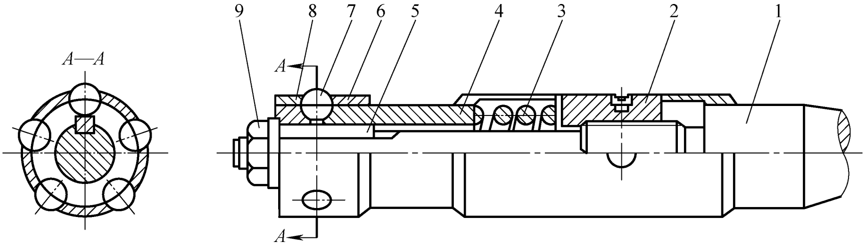


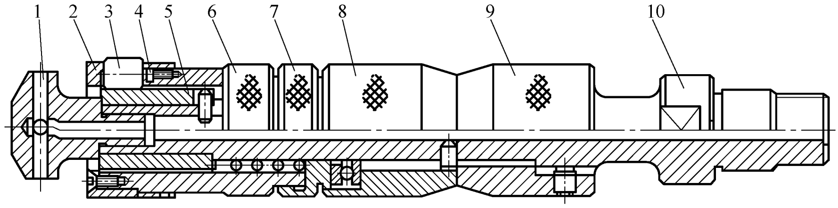
图 2-216　弹性的可调节滚珠滚压工具

1—工具柄　2—调节螺母　3—弹簧　4—右支承　5—键　6—保持器　7—滚珠　8—左支承　9—螺母

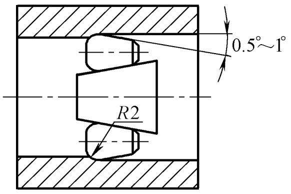
这种滚压工具结构简单，可利用轴承上的标准滚珠。它适用于工件刚性较差，以压光表面和强化表层为主的滚压。但由于滚压面积较小，所以效率较低。

2）锥形滚柱滚压工具。如图 2-217 所示，其滚压元件为圆锥形滚柱，用 GCr15 钢制造，经热处理硬度为 62～64HRC，滚柱直径公差为 0.005mm。圆锥形滚柱的数量，一般根据孔径尺寸的大小选择 4 粒、6 粒或 8 粒。滚压时，滚柱表面与工件表面之间形成有 0.5°～1°的圆锥半角（图 2-217a），其作用是减小滚柱挤压时的接触面。

滚压头径向尺寸能做微量调节，以适应不同挤压量的需要。调节原理是拧转滚花螺母 9（图 2-217a），可推动轴承座 8、紧固螺母 7、套筒 6 做轴向移动，并使锥形滚柱 3 在锥形套筒 5 上移动时，滚柱即径向伸缩，以调节滚压过盈量的大小。进行滚压时，滚柱的进给力作用在销子 4 上，通过套筒 6、紧固螺母 7 传给推力轴承。当滚压头向右退出时，滚柱受到一个向左的力，使滚柱和压紧圈 2、套筒 6 向左移动，滚压头外径便缩小，退出时不会损伤已滚好的表面，在全部退出后，滚柱



a)



b)

图 2-217　锥形滚柱滚压工具

a）多滚柱刚性滚压头结构　b）锥形滚柱滚压内孔

1—喷油嘴　2—压紧圈　3—锥形滚柱　4—销子　5—锥形套筒

6—套筒　7—紧固螺母　8—轴承座　9—滚花螺母　10—连接轴

在弹簧力的作用下复位。滚压时，取滚压过盈量为 0.08~0.1mm。调节滚花螺母 9 旋转一圈时，滚柱在径向的伸缩量可按下式计算：

$$X = 2P\tan\frac{\alpha}{2}$$

式中　X——径向伸缩量（mm）；

P——调节螺母螺距（mm）；

$\frac{\alpha}{2}$——锥度套筒的圆锥半角（°）。

2.5.3　深孔加工中的冷却与排屑

1）深孔加工时的冷却、润滑十分重要，尤其是钻削深孔时更应注意。

深孔钻削使用的切削液有乳化液、油液两类。乳化液的成分见表 2-10，使用时需以 80%~95%的清水调和。

表 2-10　乳化液的成分（体积分数,%）

N15~N32 机械油	二级松香	工业用油酸	浓度为 32%的碱液	酒精
68	10	12	5	5

油液作切削液可减小导向块与孔壁间的剧烈摩擦，促使切削油温尽快降至 35℃以下，应在油箱内附加冷却装置。常用的切削油有 85%（体积分数，余同）

N10～N20 机械油与 15%煤油的混合油，若使用 70%的硫化切削油、25%的煤油及 5%的氯化石蜡混合润滑、冷却，对保持刀具锋利和孔的表面结构都较有利。

切削液的流量、压力与钻孔直径的关系见表 2-11，表中压力是孔深为 2m 时的数值。孔深增加，压力应增大，以保证切削液顺利进入切削区域。

表 2-11　深孔加工时切削液的流量、压力与钻孔直径的关系

钻孔直径/mm	流量/(L/min)	压力/MPa
10～15	30～50	5
15～25	50～75	2.5～4.5
25～80	100～200	1～2

2）排屑是否顺畅，是深孔加工中考虑的又一重要问题。排屑不畅甚至出现堵屑，不仅影响切削液的冷却效果，还可能造成深孔加工刀具的损坏。

① 深孔钻削时的排屑。钻削时的出屑量远超过车和铰削，故应着重于排屑方式的选择。

a. 外排屑。高压切削液经钻杆孔流入切削区域，切屑在切削液的冲刷下与切削液一起自钻杆与孔壁之间的空间排出。

采用这种排屑方式，刀具结构较简单，不需要使用专用机床和专用辅具，排屑、容屑空间较大，特别适合于小直径深孔钻及深孔套料钻。

b. 内排屑。切削液从钻杆与工件孔壁的间隙进入切削区域，切除的切屑与切削液一起通过钻杆孔排出的方式为内排屑。内排屑又分为喷吸式内排屑（详见喷吸钻）和高压内排屑两种。高压内排屑钻杆内没有喷吸压力差，而是由高压大流量的切削液进入切削区域冲刷切屑并自钻杆中排出。

内排屑方式钻杆直径较大，刚性得以增加，有利于提高进给量与生产率。机床必须安装受液器 6 与封油头 1，并备有整套供液系统，如图 2-218 所示。但由于受液器、封油头都能起导向作用，故有利于钻杆工作中的稳定，冷却、排屑效果也较好。

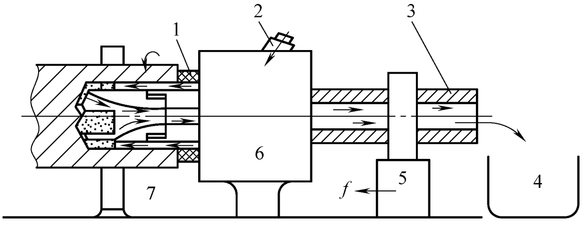


图 2-218　高压内排屑

1—封油头　2—进液口　3—钻杆　4—排液箱　5—刀架　6—受液器　7—中心架

② 车削、铰削深孔时的排屑。车削、铰削时，主要通过刃倾角控制切屑的流

向并与适当的切削用量相配合来获得较好的断屑效果，切屑在具有一定压力切削液的作用下排出孔外。

2.5.4　深孔加工方法及应注意的问题

加工深孔的方法有许多种，可根据孔的尺寸大小、精度要求等选择使用。

1. 深孔钻削

根据加工需要选择适当的深孔钻进行钻削。

（1）在车床上钻削深孔需要的辅助工具　主要有：

1）钻杆。深孔钻的钻杆如图 2-219 所示，用于安装深孔钻切削部位，应装卸迅速、方便，要防止变形。

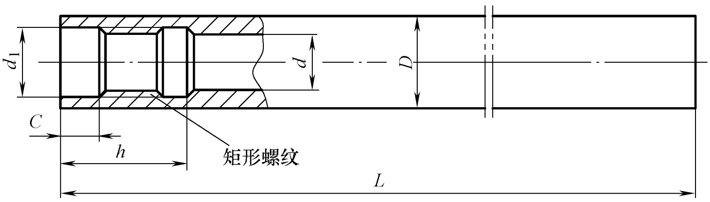


图 2-219　深孔钻的钻杆

2）钻杆夹持架。图 2-220 所示为弹性钻杆夹持架，其装于方刀架上用以安装钻杆，若夹持架本身较重，则可装在中滑板上。需注意开口衬套的中心与机床主轴回转轴线的同轴度误差不大于 0.02mm。

3）导向套。装在工件需钻孔的端面上，防止深孔钻即将进入工件时摆动。图 2-221 所示为枪孔钻使用的导向套，它不仅能正确引导钻头钻入工件，后导套 B 还可防止钻头转动。

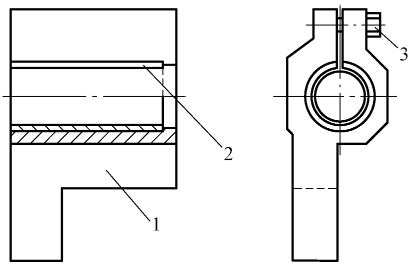


图 2-220　弹性钻杆夹持架

1—夹持架体　2—开口补套　3—紧固螺钉

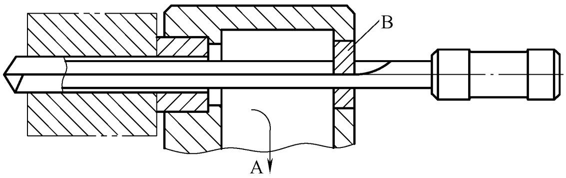


图 2-221　枪孔钻的导向套

此外，还需要中心架、供液系统、集液箱等其他附件。

（2）深孔钻削应注意的问题

1）钻削深孔前，应预钻出导向孔或使用导向套，导向套应与主轴同轴。

2）钻杆、钻头连接部的多线矩形螺纹，牙高不宜过高，一般为 0.5~1.5mm，螺纹升角为 5°左右，便于更换、装拆钻头。

3）导向块与工件接触部位，应用磨石打磨圆滑，不允许留有锐角、毛刺。

4）钻头主切削刃上生成积屑瘤，将使切屑时断、时续甚至不易折断。增大切削液压力可排除积屑瘤。

5）钻削中发现屑形杂乱、切屑堵塞，应立即停钻，仔细查找原因并予以排除。

6）调整机床各部间隙，车床的主轴径向圆跳动和轴向窜动不大于 0.01mm；床身导轨在水平面和垂直平面上的直线度误差不超过 0.06mm。

7）若切削液在管道内压力损失较大，以致影响正常排屑，可适当减小钻杆外径，增大进液间隙，同时减小钻头部分的进液间隙，使切削液进入切削区域的流速提高，冲击力增大，从而保证切屑的顺利排出。

8）依靠听、看、摸，掌握钻削情况，发现问题及时排除。

听：根据钻削中夹杂的噪声，判断切削是否正常。

看：根据钻杆的跳动，判断钻孔直线性的变化；根据切屑形态的变异，判断排屑是否顺利和切削刃的磨损程度。

摸：根据触摸钻杆感觉到的振动、进出液口切削液的温差，判断切削热的积聚原因；根据切削液的供给情况，判断供液量是否充足，是否需要更换切削液等。

（3）深孔振动钻削简介　图 2-222 所示是 C630 型车床改制的振动单管喷吸钻加工深孔装置。

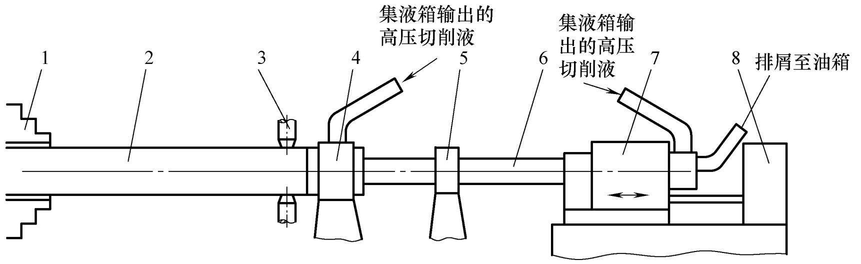


图 2-222　振动单管喷吸钻加工深孔装置

1—卡盘　2—工件　3—中心架　4—送水器　5—钻杆支架
6—钻杆　7—振动刀架　8—振动驱动装置

这套装置的特点是，用振动的方法（即以振动驱动装置 8 驱动振动刀架 7 做 20~100Hz 频率的轴向往复运动），促使切屑碎断，从而较好地解决了不锈钢、纯铜等不易断屑材料加工中的断屑问题。利用高速喷射切削液的喷射效应，使切屑得以顺利排出。高压切削液分作两路，一路经送水器 4 喷向钻头切削部分，连同碎断切屑通过钻杆 6 送至振动刀架主轴孔中；另一路进入振动刀架主轴上的负压调整器，以高速向集液箱喷射并在喷嘴周围形成一个低压区，在喷和吸的作用下可获得

较为理想的排屑效果。

采用振动单管喷吸钻装置，可钻削出 ϕ20mm×1800mm 的深孔。

2. 车削深孔

车削深孔的技术难度也相当大，特别是孔径小、深度大、精度和表面粗糙度要求高的孔加工。车削深孔除冷却、排屑困难，刀具磨损加剧，难以掌握控制切削情况外，刀杆刚性差、容易让刀，深孔的进、出口处常会出现波纹、锥形或孔径变大的缺陷，导向垫与孔壁“咬死”而造成废品是加工中常遇到的问题。

（1）车削深孔的步骤　车削深孔通常都分成钻孔、扩孔、车或镗孔，最后精整加工。

1）钻孔。同深孔钻削。

2）扩孔。使用带导向块 6 的扩孔刀进行，如图 2-223 所示。切削用量和钻削深孔基本相同。

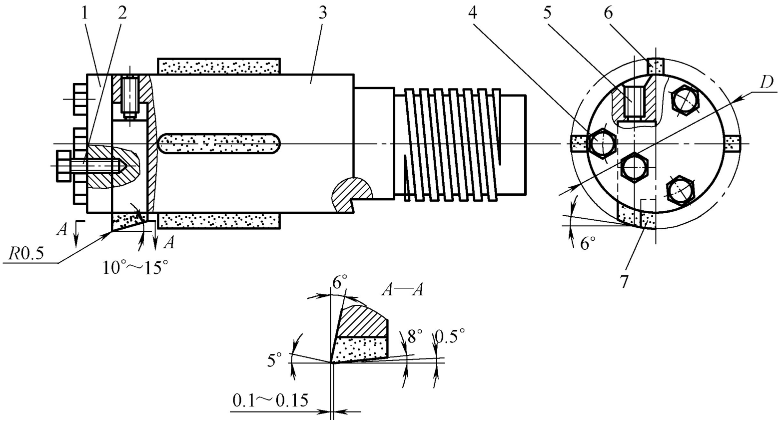


图 2-223　深孔扩孔刀

1—盖　2—紧固螺钉　3—刀体　4—螺钉　5—调节螺钉　6—导向块　7—刀块

由于扩孔的余量较少和导向块的作用，扩孔后的圆柱度误差较小，孔的同轴度和直线度也比较好，表面粗糙度 Ra 值可控制在 6.3μm 以内，为镗孔工序打下了基础。但扩孔时孔径应和导向块直径达到配合要求，使用导套找正刀具，以充足的切削液把切屑从待加工表面方向冲走。

3）车或镗孔。车削深孔一般为粗加工或加工精度要求不太高的工件，使用图 2-211所示的深孔车刀，刀杆与钻、扩孔相一致不需更换，可以减少调整耗费的时间。

精加工则采用浮动镗刀分两次进行，第一次为半精加工。图 2-224 所示为可调式浮动镗刀，刀块与刀槽保持滑动配合，并能在刀槽内做微量径向移动，使双刃对称切削，获得相等的切削深度。刀块具有 1.5°～2°的导向角和修光刃，后角较小，有一定的挤光作用。刀块尺寸可在一定范围内调整。

镗孔前应先用手扶正刀块并做少量浮动，使刀块顺利进入孔内切削，切削速度

选用3~7m/min，进给量为0.1~0.25mm/r，并充分加注切削液。表面粗糙度 *Ra* 值可达1.6~3.2μm。

采用图2-225所示深孔精镗，则可进一步提高孔的加工精度、降低表面粗糙度值。

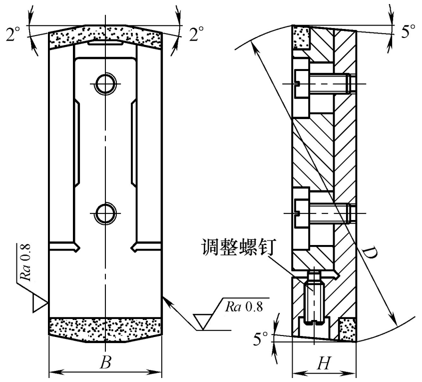


图2-224 可调式浮动镗刀

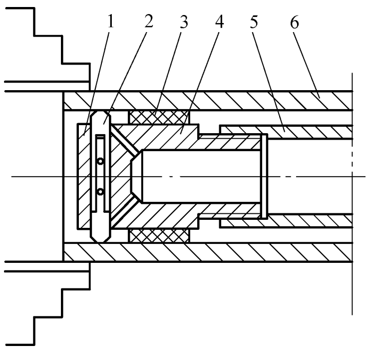


图2-225 深孔精镗

1—压盖 2—精镗刀块 3—亚麻布
4—导向头 5—刀杆 6—工件

工件半精加工以后，换上深孔扩孔刀，装好精镗刀块，并在导向头接近刀具部位（左、右侧均可）扎缠亚麻布，使缠绕直径大于孔径尺寸2~4mm，表面涂抹机油。然后使用拉镗的方式进行加工，切削液经导向头前端的斜小孔进入切削区域。深孔精镗加工平稳，且精度高（可达IT6），还可避免划伤加工表面，表面粗糙度 *Ra* 值为0.4~0.8μm。

精镗孔至最后，亚麻布脱离内孔，可使导向不定，孔口精度受到影响。解决办法是将工件长度增加20~30mm，最后切去变形部分。

4）珩磨。对于精度和表面粗糙度要求较高的深孔，可用珩磨头进行精整加工，如图2-226所示。

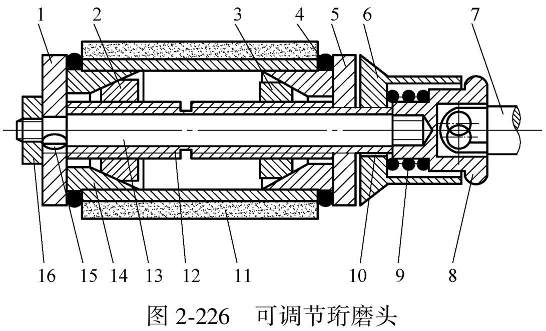


图2-226 可调节珩磨头

1—前底座 2—前圆锥 3—后圆锥 4、9—弹簧 5—后底座 6—调节套 7—珩磨杆
8—接头 10、15—键 11—磨石 12—螺纹套筒 13—中心轴 14—磨石座 16—螺母

珩磨头用接头8与珩磨杆7连接，珩磨头为浮动状态由工件孔进行导向，其外径可通过调节套6调整大小，通常应使外径缩小进入孔内，然后调整珩磨量。

珩磨使用中软硬度（L）的磨石，磨石粒度粗珩为F80~F100，精珩为F150~F180。钢类工件选刚玉类磨料，铸铁类工件选黑色碳化硅磨料。精珩后，还可用0号砂布包在珩磨头表面，对孔进行抛光，最后要用脱脂棉清理磨屑。

珩磨前，内孔表面粗糙度 *Ra* 值不得大于3.2μm；直线度必须符合图样要求；余量一般为0.1~0.15mm，每次的珩磨量以工件不出现非正常声响为适当；珩磨头圆周速度为30~40m/min，珩磨头的往复移动速度为10~14m/min；钢类工件以柴油或机油进行充分的冷却润滑，铸铁类工件则以煤油为冷却润滑剂。

（2）车削深孔应注意的问题

1）增加工件的刚性和刀杆的强度，并保证车床主轴回转中心、中心架支承中心及刀杆支持部件的中心同轴。

2）浮动刀块与刀槽的配合间隙不得大于0.02mm，两切削刃位置必须在工件孔的对分线上，并与车床主轴回转轴线平行。可调式浮动镗刀刀块两部分的配合必须符合要求。

3）半精加工后的余量不宜过大，一般在0.05~0.2mm，几何精度达到图样要求，为精加工创造良好条件。

4）随时注意观察加工过程中的各种现象，及时检查，如发现问题要及时采取相应的措施。

5）切削液要具有一定的压力，使切削时冷却润滑充分，并能按预定方向冲走切屑。

3. 深孔精铰

精铰深孔可以使用图2-211所示的深孔浮动铰刀进行，加工方法类似于深孔镗削。而对于精度较高、直径较小的深孔，则可使用小直径深孔铰刀加工，如图2-212所示。

精铰深孔时，铰刀的安装必须使铰刀轴线与工件轴线重合，铰孔前，孔的直线度应先予以保证，铰刀切削刃不允许有缺损。可调式铰刀尺寸必须找正准确，取下铰刀不拉伤工件表面等，以保证铰削质量。

2.5.5 液压筒车削加工实例

1. 主要技术要求和工艺分析

图2-227所示为液压筒的零件图。该零件毛坯为HT200铸件，由图示尺寸可知液压筒长径比为1∶9.5，属于一般深孔，但其几何公差有5处，主要尺寸精度有3处，$\phi70^{+0.19}_{0}$mm内孔表面粗糙度 *Ra* 值为0.4μm。

1）由于有较高的技术要求，故应认真进行工艺分析，合理安排工序、工步，采取相应的措施，才能保证其质量。

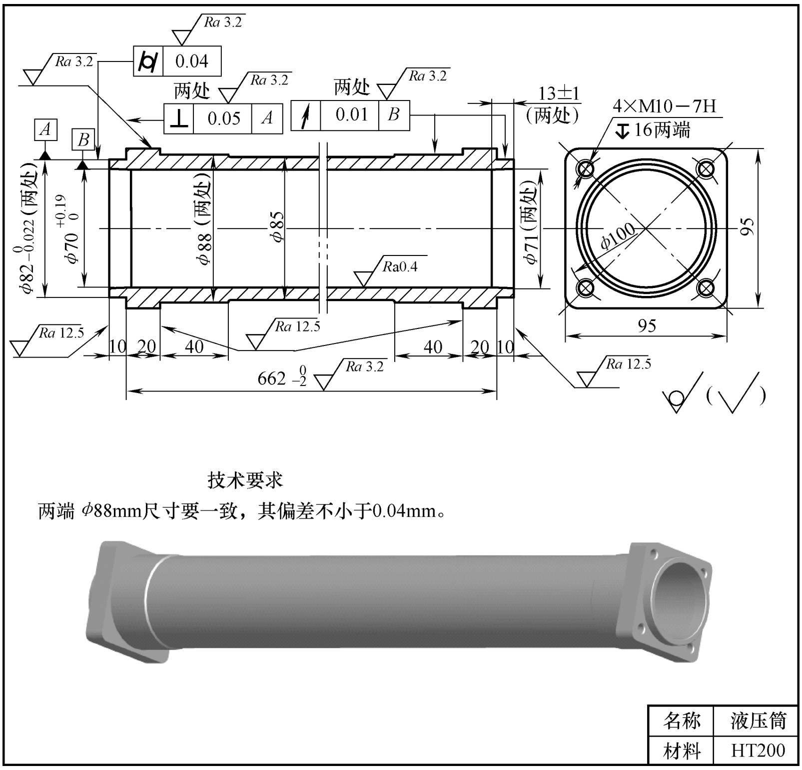


图 2-227　液压筒零件图

对零件的加工应划分阶段进行，特别是几个主要尺寸，如 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 内孔、两处 $\phi88$mm 外圆、$\phi82^{\ 0}_{-0.022}$mm 外圆等，必须将粗加工、半精加工、精加工分开。

2）$\phi88$mm 外圆为加工 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 内孔的安装基面，为保证相互位置精度，两处 $\phi88$mm 外圆须在一次装夹中完成，并要求尺寸一致。$\phi70^{+0.19}_{0}$mm 内孔表面粗糙度值要求较低，常规加工手段难以达到要求，须在精加工后，再用珩磨的方法进行精整加工。

3）法兰尺寸为 95mm×95mm，工件总长达 682mm，应采用卡盘夹持一端，中心架支持另一端的装夹方式或两顶尖安装。

4）铸件毛坯应力求无砂眼、气孔，加工前应进行人工时效，以消除应力。

2. 主要加工方法和工序、工步的设计

加工步骤如下：

热处理（人工时效）→粗车 $\phi88$mm 外圆；内侧面 620mm 尺寸→车端面；粗车 $\phi82$mm 外圆→调头，粗车 $\phi82$mm 外圆；外侧端面→粗、精镗及铰孔 $\phi70^{\ 0}_{-0.1}$mm→半精车两处 $\phi88$mm 外圆→半精车两端 $\phi82$mm 外圆→粗、精珩磨

$\phi 70^{+0.19}_{0}$mm 内孔→精车两处 $\phi 88$mm 外圆→精车两端 $\phi 82^{0}_{-0.022}$mm 外圆；两法兰外端面；两端内锥度→检验。

1）热处理进行人工时效。

2）使用梅花顶尖支持工件；以正、反进给分别粗车两处 $\phi 88$mm 外圆，留余量 3mm，注意两处尺寸保持一致，偏差不大于 0.04mm；车法兰两内侧端面，保证两内侧面间距不大于 620mm，并注意两法兰厚度均不得小于 22mm。

技能大师经验谈：

铸件的被顶孔处如果很不规则，就有必要对其进行修整，否则毛坯的偏摆过大，造成加工余量不足。

3）用单动卡盘夹持 $\phi 82^{0}_{-0.022}$mm 外圆，中心架支持远端 $\phi 88$mm 外圆并找正。车端面，粗车 $\phi 82$mm 外圆及法兰外侧端面，留余量 3mm，保持阶台长度为 10mm。

调头，以同样的方法装夹并车削端面、$\phi 82$mm 外圆、法兰外侧端面，留相应余量。注意工件总长不小于 684mm。

技能大师经验谈：

在用卡盘装夹工件时，切记卡爪与工件间必须垫纯铜皮，这样既可防止因毛坯外表不规则难装夹，又便于工件的找正。

4）采用单动卡盘夹持一端，用中心架支持右端 $\phi 88$mm 外圆后找正，粗、精镗及铰孔至尺寸 $\phi 70^{0}_{-0.1}$mm，内孔表面粗糙度 Ra 值不大于 3.2μm。

技能大师经验谈：

使用中心架时，首先应将工件两端的 $\phi 88$mm 外圆用百分表找正，再细心地调整中心架卡爪，否则未被找正的工件极易被旋转的卡盘扭下，造成事故。

经常保持卡爪与工件夹持处的润滑，并尽可能降低该处的温度。

5）以 $\phi 70$mm 孔定位，两顶尖装夹。半精车两处 $\phi 88$mm 外圆，留余量 1.1mm，要求参考工序 2）。车法兰两内侧端面，保证两内侧端面间距不大于 621mm，两法兰厚度均不小于 21mm。

6）与工序 3）的装夹、车削方法相同，半精车两端 $\phi 82$mm 外圆，留余量 1.1mm。两端阶台长度均保持 10mm，工件总长不小于 683mm。

7）以与工序 4）相同的方法，装夹工件，粗、精珩磨 $\phi 70^{+0.19}_{0}$mm 内孔至图样要求。

8）以 $\phi 70^{+0.19}_{0}$mm 孔定位，两顶尖装夹，精车两处 $\phi 88$mm 外圆达图样要求。

9）以与工序 3）相同的装夹、车削方法，精车两端 $\phi 82^{0}_{-0.022}$mm 外圆、两法兰外端面、两端内锥度达图样要求。

10）去毛刺，清理内孔。

11）检验。

3. 主要部位的检验

1）内孔 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 尺寸和圆柱度的检验　使用 50～100mm 的内径百分表测量 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 孔径，在同一圆截面的几个不同角度和内孔全长上读数，此读数应在 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 范围内；其中在全长上的最大读数与最小读数之差即为 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 孔的圆柱度误差。

2）右端 $\phi82^{0}_{-0.022}$mm 与 $\phi88$mm 外圆相对 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 孔的圆跳动误差，是采用了以 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 孔端倒角为基准（孔端倒角是同 $\phi70^{+0.19}_{0}$mm 孔在一次装夹下车成的），加工 $\phi82^{0}_{-0.022}$mm 与 $\phi88$mm 外圆的，圆跳动误差是通过基准重合的原则来保证的。

3）两端阶台端面的垂直度检验　该两处阶台端面均是在精车 $\phi82^{0}_{-0.022}$mm 外圆后再精车的，遵循了基准统一的工艺原则，因此，该处垂直度在不考虑机床精度的前提下是应当免检的。

2.6　车削难加工材料

难加工金属材料跟一般金属材料相比，其化学成分、金相组织、物理和力学性能有显著的区别，切削加工性能较差，所以在切削加工过程中，必须根据被加工材料的特点，灵活运用切削原理知识，具体选择车刀材料及车刀几何角度。

由于这类材料的种类很多，这里仅介绍几种比较常见的难加工金属材料。

2.6.1　影响切削加工性的因素

由于在金属材料中添加了很多合金元素，使其物理、化学性能适应了使用需要，但这却给金属切削带来了很大困难。本节简单介绍在生产中常见并有代表性的几种特种、难加工金属材料和非金属材料的切削性能、刀具材料及其角度的选择、切削用量的选定。

1. 强度及硬度

工件材料的强度或硬度越高，切削力越大，切削温度也越高，刀具磨损会加剧。另外，切削硬度高的材料时，切削刃与切屑间接触长度较短，切削力与切削热全部集中在切削刃附近，极易造成切削刃剥落，甚至崩刃，这对刀具材料较脆的硬质合金更为明显。因此，材料的切削加工性较差。

2. 塑性

工件材料的塑性越大，切屑变形越大，产生的切削热越多，切屑越容易与刀具发生粘结，因此，会加剧刀具的磨损。但若工件材料的塑性太小，则切削刃与切屑接触长度会很短，也会使刀具磨损严重。因此，工件材料塑性太大或过小，切削加工性均较差。

3. 耐热性

工件材料的耐热性越好，在高温下越能保持较高的强度及硬度，切削时难度越大。

4. 对刀具的擦伤能力

工件材料的擦伤能力越强，对刀具的磨损也越大，切削加工性也越差。

5. 导热系数

工件材料的导热系数越小，切削热越不易传散，切削温度越高，刀具磨损越严重，切削加工性也越差。

2.6.2 特种金属材料的车削

1. 不锈钢的车削

（1）不锈钢的车削特点　不锈钢按化学成分可分为铬不锈钢（如 Cr13、4Cr14 等）和铬镍不锈钢（如 1Cr18Ni9Ti）。不锈钢的车削特点如下：

1）不锈钢的高温强度和高温硬度高，如奥氏体不锈钢在温度高达 700℃ 时仍不降低其力学性能，使切削加工困难，切削阻力大。

2）塑性大，韧性好，切削变形大，相应的切削力、切削热也大。

3）导热性差，热导率为中碳钢的 1/4～1/2，因此车刀上的切削温度较高，使车刀磨损加快。

4）黏附性强，在切削过程中，切屑容易黏附在刀具上而产生积屑瘤，不易获得表面质量好的加工表面，切削刃容易磨损。

5）不锈钢的加工表面易产生冷硬现象，加剧车刀的磨损。

6）韧性大，切屑不易折断、卷曲，在切削过程中，容易堵屑，影响表面质量及损坏切削刃。

（2）车不锈钢车刀的几何参数选择　刀具切削部分材料应选用硬度高、韧性和耐热性好、与不锈钢黏附性小的刀具材料。采用高速钢时，应选用含钴高速钢和含钼的超硬型高速钢，如 W2Mo9Cr4VCo8 等；采用硬质合金时，宜选用 YG 类，如 YG8、YG6、YG8N 及 YG6X 等。一般不采用 YT 类，或使用加入碳化铌的 YWl、YW2。

车刀的几何参数选择如下：

1）前角一般选 $\gamma_o = 12° \sim 30°$。加工马氏体不锈钢（如 2Cr13）时，前角可取较大值；加工奥氏体+铁素体不锈钢时，前角取较小值；加工硬度较低的不锈钢时，可取较大前角。

2）后角一般取 $\alpha_o = 6° \sim 12°$，切削厚度小时，宜选较大后角。

3）主偏角一般选，$\kappa_r = 60° \sim 75°$。

4）副偏角尽可能选小些，粗车外圆时可取 $\kappa_r' = 8° \sim 15°$；精车外圆时可以选得大一些，但要保证刀尖角不小于 90°。

5）刃倾角一般取负值，即 $\lambda_s=-8°\sim-3°$，断续切削时，取绝对值较大的负值，即 $\lambda_s=-10°\sim-5°$。

6）刀尖圆弧半径 $r_\varepsilon=0.5\sim1$mm，为了便于切屑的排出和卷曲，多采用圆弧形卷屑槽。

（3）车不锈钢车刀实例

实例1　图2-228所示为车不锈钢90°外圆车刀，刀具特点如下：

1）刀片材料：YG8硬质合金。

2）车刀特点：车刀的主要特点是由较大的前角和圆弧形卷屑槽组成。卷屑槽斜角为15°形成前宽后窄的形状，使切屑向待加工表面方向翻转，并在碰到刀具后面或工件的过渡表面时折断。

3）切削用量：在 $v_c=120\sim150$m/min，$f=0.2\sim0.4$mm/r，$a_p=1\sim2$mm 范围内切削顺利，具有良好的断屑效果。

4）应用范围：适合于车削1Cr18Ni9Ti不锈钢刚性较差的轴类工件。

实例2　图2-229所示为车不锈钢45°外圆车刀、刀具特点如下：

1）刀片材料：YW1硬质合金。

2）刀具特点：车刀具有极窄（$b_{r1}=0.1$mm）而倾度较大（$\gamma_{o1}=-10°$）的负倒棱，以及前角 $\gamma_o=12°\sim15°$与 $R=10$mm 的圆弧组成的卷屑槽，以增加强度，达到顺利断屑，克服"黏刀"现象，刀具寿命高。刀尖圆弧半径较大，散热性良好。加工表面粗糙度 Ra 值可达3.2~1.6μm。

3）切削用量：$v_c=120\sim180$m/min；$f=0.4\sim1$mm/r；$a_p=4\sim7$mm。

4）应用范围：在CA6140型卧式车床上，适用于半精车铬镍系统的不锈钢。

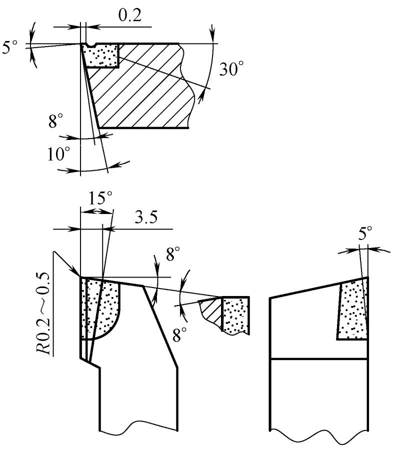


图2-228　车不锈钢90°外圆车刀

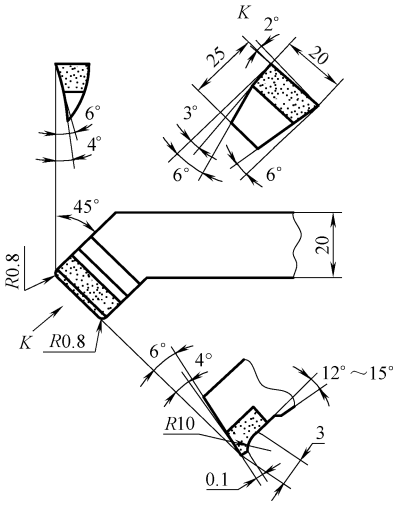


图2-229　车不锈钢45°外圆车刀

实例3　图2-230所示为切不锈钢切断刀，刀具特点如下：

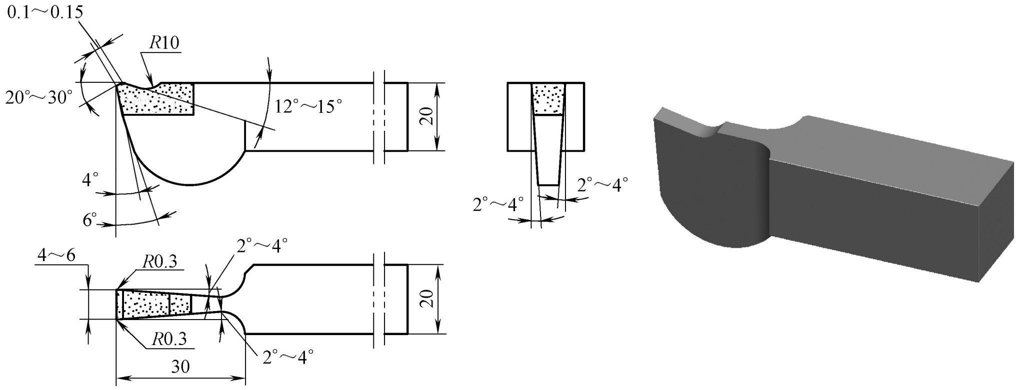


图 2-230　切不锈钢切断刀

1）刀片材料：YW1 硬质合金。

2）刀具特点：具有极窄（$b_{r1}=0.1\sim0.15$mm）而倾度大（$\gamma_{o1}=-30°\sim-20°$）的倒棱；以及有 12°～15°的前角与 $R=10$mm 的圆弧连成的卷屑槽，使切削力减小，适应加大进给量来进行切断。同时克服因不锈钢切屑黏结刀尖而造成崩刃的缺点，切屑排出顺利。

3）切削用量：$v_c=120\sim200$m/min；$f=0.2\sim0.5$mm/r。

4）应用范围：在 CA6140 型或 CA630 型卧式车床上切断如 1Cr18Ni9Ti 等不锈钢工件。

2. 车淬硬钢车刀

（1）淬硬钢的车削特点　在车削过程中，有时会遇到经淬火后钢的硬度在40～60HRC。这类淬硬钢的车削特点是：

1）淬硬钢硬度高，单位切削阻力大，如 45 钢硬度为 44HRC 时，较正火状态下的单位切削阻力高 35%。

2）淬硬钢热导率低，由于切削阻力大，切削温度高，如硬度为 44HRC 的 45 钢的切削温度，比正火状态下高 45%左右，这样使刀具磨损加剧，容易破损。

3）淬硬钢经淬火后，塑性降低，因此切削过程塑性变形小，不易产生积屑瘤，可减小加工表面粗糙度值。

（2）车淬硬钢车刀几何参数的选择　车刀切削部分材料应选用耐热性、耐磨性较好，硬度较高的硬质合金刀具材料。如粗车时选用 YT5、YW2；半精车与精车时选用 YT30、YN10、YH1 和 YH2。

车刀的几何参数选择如下：

1）前角一般选用 $\gamma_o=0°\sim-10°$，硬度越高，前角的绝对值应越大，当选用 $\gamma_o=0°$时，需磨出 2～3mm 宽的负倒棱。

2）后角选用 $\alpha_o=6°\sim10°$。

3）主偏角一般取 $\kappa_r=30°\sim60°$，如工艺系统刚性较好，可取较小主偏角。

4）副偏角一般取 $\kappa_r'=6°\sim15°$，半精车取大值，精车取小值。

5）刃倾角取 $\lambda_s=-5°\sim0°$，半精车取绝对值较大负值，精车取 $\lambda_s=0°$，在冲击条件下，取 $\lambda_s=-20°\sim-10°$。

6）刀尖圆弧半径取 $r_\varepsilon=1\sim2$mm。

（3）车淬硬钢车刀实例

实例1　图2-231所示为淬硬钢车刀，刀具特点如下：

1）刀片材料：YW1、YW2或YT30硬质合金。

2）刀具特点：刀具的刀尖角及刀尖圆弧半径较大，因此，切削部分的强度和散热条件较好，刀具采用 $\gamma_o=-15°\sim-10°$的负前角，增强了切削刃。

3）切削用量：$v_c=75\sim80$m/min；$f=0.3\sim0.4$mm/r；$a_p=0.8\sim1.2$mm。

4）应用范围：适用于在C616型、C6140型或C630型卧式车床上车削硬度为40～58HRC的淬硬钢工件。

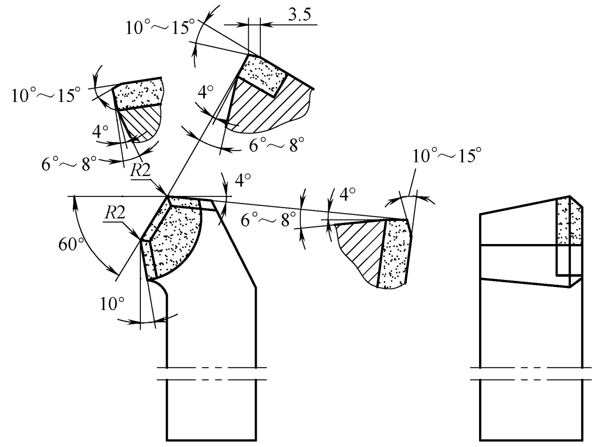


图2-231　淬硬钢车刀

实例2　图2-232所示为淬硬钢圆弧精车刀，车刀特点如下：

1）刀片材料：YG3或YW1硬质合金。

2）车刀特点：前角 $\gamma_o=-15°$，增强切削刃。刀尖呈圆弧状，有利于降低残留高度，减小工件表面粗糙度值，同时能提高刀尖强度。刀尖圆弧半径的大小，可根据工件需要刃磨。前后刃面应研磨，表面粗糙度 *Ra* 值要求为0.4μm。

3）切削用量：$v_c=130\sim160$m/min；

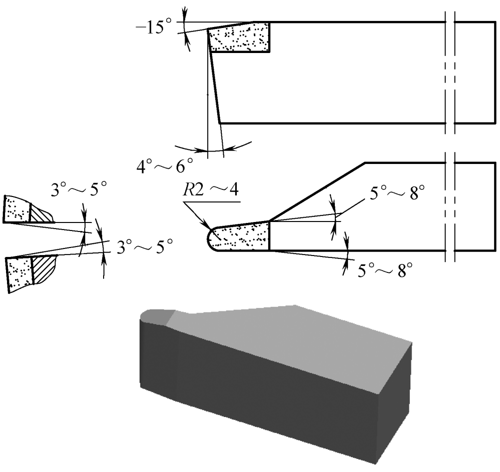


图2-232　淬硬钢圆弧精车刀

f=0.2~0.3mm/r；a_p=0.02~0.3mm。

4）应用范围：加工硬度为45~55HRC的淬火中碳钢，滚轮凸凹圆弧外形、端面沟槽等精加工。

3. 车冷硬铸铁车刀

冷硬铸铁用于制造轧辊、车轮等大型工件。

（1）冷硬铸铁的车削特点　冷硬铸铁属耐磨铸铁，具有高硬度和高抗压强度，在高压下有抗磨能力。刃磨车冷硬铸铁车刀时，应掌握以下车削特点。

1）表面硬度高，冷硬层深度为8~40mm，并有较高的热强度，它的塑性很低，刀-屑接触长度很小，切削阻力大，切削温度高并集中在切削刃附近，因而切削刃很容易崩损。

2）冷硬铸铁零件一般结构尺寸较大，加工总余量大，因而就进一步加大了加工难度。

3）冷硬铸铁表层组织为白口铁，硬而脆，在切削过程中容易产生崩边现象，造成废品。

4）冷硬铸铁工件采用铸造成形，毛坯表层余量不均匀并存在气孔、夹砂等缺陷，粗车时冲击较大，容易损坏刀具。

（2）车冷硬铸铁车刀几何参数的选择　刀具切削部分材料一般选用YG（如YG6、YG8）、YW及YH类硬质合金。此外，用复合氧化铝或氮化硅陶瓷对冷硬铸铁进行精加工、半精加工效果也很好。

车刀几何参数的选择如下：

1）选用较小前角，一般取负值，γ_o=-2°左右，硬度越高应取绝对值越大的负前角。

2）后角不宜过大，α_o= 4°~8°。

3）主偏角、副偏角、刃倾角和刀尖圆弧半径可参考车淬硬钢车刀的选择原则。

（3）车冷硬铸铁车刀

实例　图2-233所示为车冷硬铸铁轧辊车刀，刀具特点如下：

1）刀片材料：YG6硬质合金。

2）刀具特点：由于辊身表层硬度高，所以选用较小的前角γ_o= -2°。主偏角取κ_r=15°较小，目的是改善刀头散热条件，提高车刀使用寿命，同时较小的主偏角还可以使刀具切入和切出时较稳，减小轧辊崩边和刀具崩损的可能性。磨出r_ε=1~1.5mm的刀尖圆弧及取刃倾角λ_s=0°，使刀尖部分有很高强度和散热能力，并提高切削平稳性。

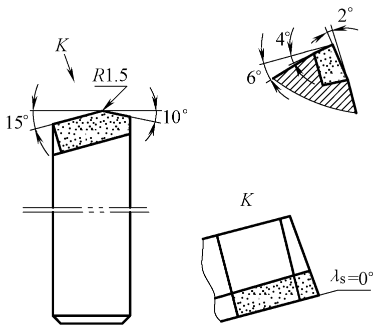


图2-233　冷硬铸铁轧辊车刀

3）切削用量：$v_c=4\sim7\text{m/min}$；$f=0.5\sim0.8\text{mm/r}$；$a_p=3\sim6\text{mm}$。

4）应用范围：适用于在轧辊车床上车削冷硬铸铁轧辊辊身外圆。

4. 其他难加工金属材料车刀

实例

（1）耐热合金钢车刀　耐热合金钢车刀如图2-234所示，刀具特点如下：

1）刀片材料：YT15、YG8硬质合金。

2）刀具特点：具有双重过渡刃和修光刃；并磨有$b_{r1}=0.5\text{mm}$、$\gamma_{o1}=-5°$。负倒棱以及前角$\gamma_o=10°$的圆弧断屑槽，刀尖强度好，断屑良好，可以进行外圆和端面的大进给量和强力切削。

3）切削用量：$v_c=50\sim100\text{m/min}$；$f=0.5\sim1\text{mm/r}$；$a_p=1.5\sim3\text{mm}$。

4）适用范围：铬镍钢、铬镍钼钢及耐热合金钢等外圆及端面车削。

（2）车高速钢车刀　车高速钢车刀如图2-235所示，刀具特点如下：

1）刀片材料为YG8硬质合金；断屑台为W9Cr4V2高速钢；刀杆为45钢并经调质处理。

2）刀具特点：具有$\gamma_o=12°$的正前角，并焊有单独高速钢的断屑台，刃倾角$\lambda_s=-6°$，车削时断屑效果良好。

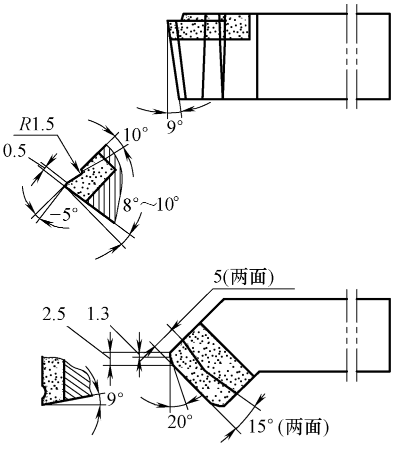


图2-234　耐热合金钢车刀

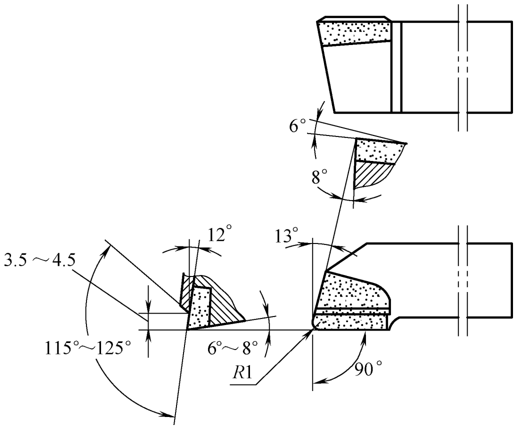


图2-235　车高速钢车刀

3）切削用量。

① 车削高速钢：$v_c=40\sim60\text{m/min}$；$f=0.3\sim1\ \text{mm/r}$；$a_p=1\sim4\text{mm}$。

② 车削耐热钢：$v_c=40\sim60\text{m/min}$；$f=0.2\sim0.6\text{mm/r}$；$a_p=1\sim10\text{mm}$。

4）适用范围：高速钢及耐热合金钢等外圆的车削。

（3）切削用量及切削液的选择　$v_c=150\sim500\text{m/min}$；$a_p$及$f$均同于普通钢材。但当排屑不顺利时，进给量$f$应适当减小。

粗车时可采用乳化液冷却润滑，但精车时使用乳化液会使工件产生腐蚀现象，

可采用煤油或压缩空气冷却。

2.6.3　非金属材料的车削

1. 车削橡胶

（1）橡胶的车削特性　橡胶材料除了有一般非金属材料共有的导热性差、强度低等特点外，还有弹性极大的特点。因此在车削时，材料具有较高的弹性和可弯曲性、耐磨性，并具有抗化学腐蚀及良好的绝缘性能。特别是软橡胶类工件。因此橡胶制品在工业上应用极为广泛。绝大部分的橡胶制品由模具热压制成，但也有少数配件需切削加工后成形。

（2）刀具材料及几何角度的选择　常选用的刀具材料有：T8A、T10A、T12A 碳素工具钢和 W18Cr4V 高速钢，在车削杂质较多的硬橡胶时，由于高速钢等刀具耐磨性较差，视具体情况，还可采用硬质合金刀具材料。

刀具最大特点是为保证车削顺利，使车刀尽可能锋利，采用 $\gamma_o=65°\sim75°$ 的大前角和较大的后角。否则车削时不易达到要求的精度和较好的表面质量。为减小车刀后面与工件表面的摩擦，分散切削力和切削热，车刀磨有 $R2\sim3$mm 圆弧过渡刃和 $b'_\varepsilon=(1\sim2)f$、$\kappa'_\varepsilon=0°$ 的修光刃。为使切屑排出流畅，车刀的前面磨成大前角平面形和圆弧形组成的排屑槽。常用车橡胶外圆车刀的角度选择：前角为 60°～75°，后角为 10°左右，楔角为 10°～15°，如图 2-236、图 2-237 所示。

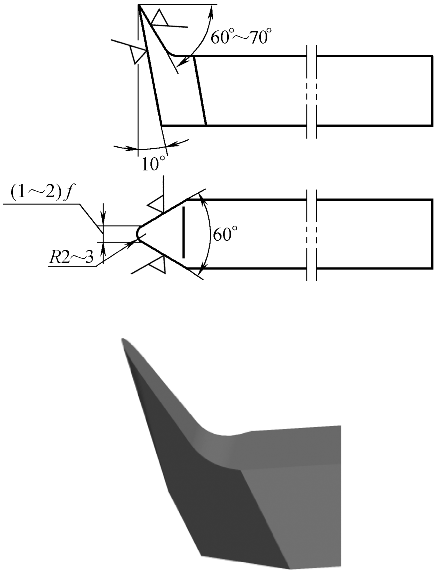


图 2-236　车橡胶外圆车刀

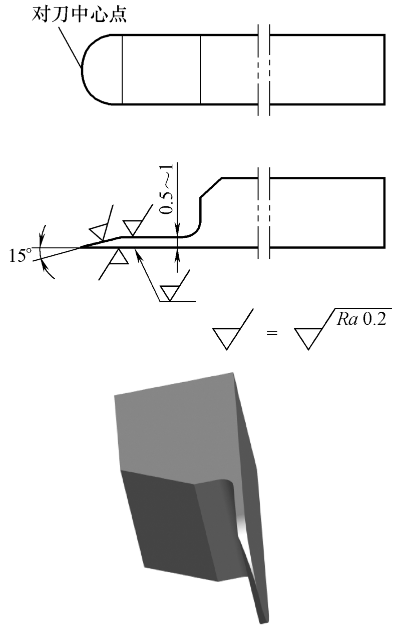


图 2-237　切橡胶切断刀

（3）工件的装夹方法　由于橡胶的强度低、弹性好，车削中容易产生弹性变形，因此应特别注意工件的装夹方法。例如：可在卡盘上装夹平整木板钉住橡胶板，或用木质心轴装夹套、圈类工件增强橡胶抵抗切削的能力。

（4）切削用量的选择　硬、软橡胶的切削性能差别较大，应根据切削形式、车刀角度和不同种类型的橡胶来选择。一般切削速度都选得较大。切削用量一般为：$v_c=100\sim150\text{m/min}$，$f=0.5\sim0.75\text{mm/r}$，$a_p=2\sim6\text{mm}$。

车削时不得使用油类作切削液，以防油类腐蚀橡胶，致使其变形。特殊需要时，可采用水冷却。

（5）车削含杂质较多的硬橡胶时，也可使用硬质合金车刀。但由于这类材料热导率小，热量不易散发，所以要选用导热性良好的钨钴类硬质合金：YG8、YG6。刀具几何参数：粗车时，前角 $\gamma_o=40°\sim45°$，后角 $\alpha_o=8°\sim12°$；精车时，前角 $\gamma_o=45°\sim55°$，后角 $\alpha_o=10°\sim15°$，一般以切削楔角 $\beta_o=20°\sim30°$为宜。刀杆与前面相连部位磨成大圆弧，以使切屑通畅排出。图 2-238 所示是车橡胶硬质合金外圆车刀，用于大件橡胶件的外圆车削。

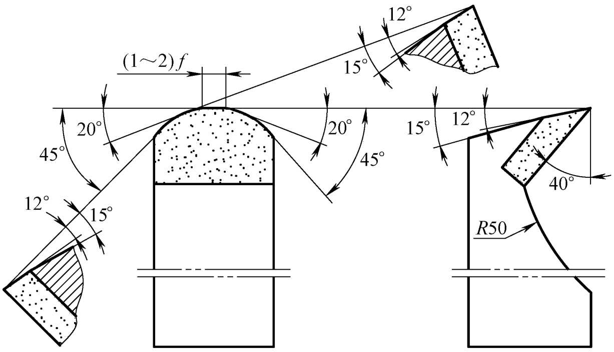


图 2-238　车橡胶硬质合金外圆车刀

2. 车削有机玻璃

（1）有机玻璃的车削特性　车削有机玻璃时，最突出的特点是：切削温度高则产生变形，甚至局部熔解成瘤状；在温度较低、切削力过大时，则会出现脆裂；另外，车削表面想达到一定的光亮程度有较大难度。

（2）刀具材料及几何角度的选择　常用的有 YG6、YG8 和 W18Cr4V 等。

车有机玻璃车刀采用前角为 30°～40°，后角为 10°～12°，刃倾角为 5°～20°，其余几何角度与一般车刀相似。

（3）切削用量的选择　进给量为 0.08～0.3mm/r；切削速度：粗车时的切削速度比一般钢材略高，精车和车削薄壁工件时，其切削速度应比车削钢件时略低，以减小由于切削热而产生的变形。背吃刀量可参照一般钢件选择。

（4）车削方法　车削可分为：精车，留研磨余量；半精研磨，用 F400 水磨砂

纸蘸水，研去车刀刀痕；精研磨，用 F600 水磨砂纸蘸水研磨；抛光，用干净的棉花或软布蘸机油，并加研磨膏抛光。实践证明，用牙膏抛光的效果也非常好。抛光后清洗晾干。

车削有机玻璃材料时，应注意以下几点：

1）切削刃要锋利，防止工件变形和表面质量差。选用正值刃倾角，防止切屑拉毛已加工表面。

2）背吃刀量和进给量不宜过大，以防工件碎裂、变形。

3）要防止温度过高产生变形和切削力过大产生脆裂。为此在加工中，可用压缩空气或加少量切削液进行冷却来控制切削温度。

3. 车非金属外圆精车刀

图 2-239 所示为非金属外圆精车刀，刀具特点如下：

1）刀片材料为 YG8、YG6 硬质合金。

2）车刀的特点是前角较大，磨有圆弧断屑槽，并磨有 $\lambda_s=5°$ 刃倾角，使切削轻快，排屑顺畅，有 1~3mm 的修光刃，使加工表面粗糙度值小。

3）切削用量：$v_c=150\sim180\text{m/min}$，$f=0.3\sim0.5\text{mm/r}$，$a_p=0.1\sim0.5\text{mm}$。

4）车刀适用于车削夹布胶木、硬木、有机玻璃及玻璃钢等非金属材料。

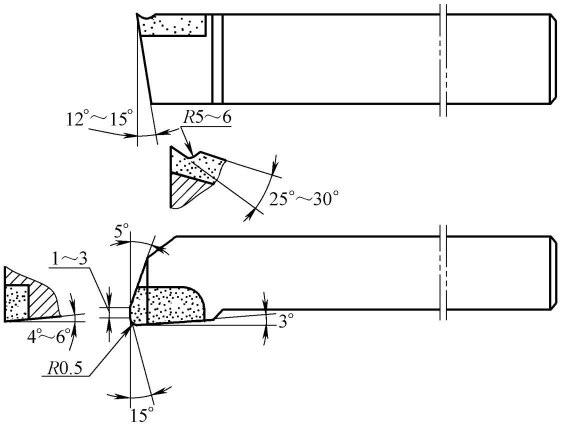


图 2-239　非金属外圆精车刀

2.7　废品产生原因及预防方法

1）车外圆时产生废品的原因和预防方法见表 2-12。

2）车端面和阶台时产生废品的原因和预防方法见表 2-13。

3）切断和车沟槽时产生废品的原因及预防方法见表 2-14。

4）镗孔时产生废品的原因见表 2-15。

5）铰孔时产生废品的原因见表 2-16。

6）车圆锥时产生废品的原因及预防方法见表2-17。

7）车削特形面时产生废品的原因及预防方法见表2-18。

8）滚花时产生乱纹的原因及预防方法见表2-19。

9）车螺纹时产生废品的原因及预防方法见表2-20。

表2-12　车外圆时产生废品的原因和预防方法

废品种类	产生原因	预防方法
尺寸精度达不到要求	操作者看错图样或刻度盘使用不正确	车削前读懂图样，看清尺寸要求，正确使用刻度盘，看清格数
	车削时盲目进给，没有进行试切削	根据加工余量算出背吃刀量，进行试切削
	量具有误差或测量不正确	量具使用前，必须进行仔细检查和调整零位，正确掌握测量方法
	由于切削热的影响，使工件尺寸发生变化	不能在工件温度较高时测量。如果要测量，应该掌握工件的收缩情况，或在车削时浇注切削液，降低工件的温度
产生锥度	用一夹一顶或两顶尖装夹工件时，后顶尖轴线不在车床主轴轴线上	车削前必须调整尾座轴线，使其位置准确，没有锥度
	用小滑板进给车外圆时产生锥度	车削前必须事先检查小滑板上的刻线是否跟中滑板刻线的“0”对准
	车床导轨与主轴轴线不平行	调整车床主轴跟床身导轨的平行度
	工件装夹长度较长，车削时因切削力影响使前端让刀，产生锥度	车削时采用一夹一顶的装夹方法增加装夹刚度
	刀具中途逐渐磨损	根据工件材料选择合适的刀具材料或适当降低切削速度
表面粗糙度值达不到要求	车床刚度不足，如拖板镶条过松，传动零件（如带轮）不平衡或主轴太松引起振动	消除或防止由于车床刚度不足引起的振动
	车刀的刚度不足或装夹不正确引起振动	增加车刀的刚度和正确装夹车刀
	工件的刚度不足引起振动	增加工件的装夹刚度
	车刀的几何角度不正确	根据工件材料选择合理的车刀角度
	切削用量选择不当	进给量不宜太大，精车余量和切削速度选择适当

表2-13　车端面和阶台时产生废品的原因和预防方法

废品种类	产生原因	预防方法
端面凸或凹	用右偏刀从外向中心进给时，床鞍没固定，车刀扎入工件产生凹面	在车大端面时，必须把床鞍的固定螺钉锁紧
	车刀不锋利，小滑板太松或刀架没锁紧，使车刀在切削力的作用下产生“让刀”，因而产生凸面	保持车刀锋利，调整中小拖板的镶条，使其不能太松；车刀刀架应锁紧
	车刀装夹不正确产生凸面	车刀装夹必须正确，使主偏角≥93°

（续）

废品种类	产 生 原 因	预 防 方 法
阶台不垂直	较低的阶台是由于车刀装夹歪斜，使主切削刃跟工件轴线不垂直	车刀安装必须正确，使主切削刃垂直于工件的轴线；车阶台时最后一刀应从阶台里面向外车出
	较高的阶台不垂直的原因跟端面凹凸的原因一样	车削时，保持车刀切削刃锋利，调整中小拖板的镶条，使其不能太松；锁紧车刀刀架

表 2-14　切断和车沟槽时产生废品的原因及预防方法

废品种类	产 生 原 因	预 防 方 法
沟槽尺寸不正确	主切削刃太宽或太窄	根据沟槽宽度刃磨主切削刃宽度
	没有及时测量或测量不正确	切槽及时，测量正确
	尺寸计算错误	仔细计算尺寸，留有磨削余量的工件，切槽时必须把磨削余量考虑进去
表面凹凸不平	切断刀强度不够，主切削刃不平直，切削时由于侧向切削力的作用使刀具偏斜，致使切下的工件凹凸不平	增加切断刀的强度，刃磨时必须使主切削刃平直
	刀尖圆弧刃磨或磨损不一致，使主切削刃受力不均而产生凹凸面	刃磨时保证两刀尖圆弧对称
	切断刀装夹不正确	正确装夹切断刀
	刀具角度刃磨不正确，两副偏角过大而且不对称，从而降低刀头强度，产生“让刀”现象	正确刃磨切断刀，保证两副偏角对称
表面粗糙度值达不到要求	两副偏角太小，产生摩擦	正确选择两副偏角
	切削速度选择不当，没有加切削液	选择适当的切削速度，并浇注切削液
	切削时产生振动	采取防振措施
	切屑拉毛已加工表面	控制切屑的形状和排除方向

表 2-15　镗孔时产生废品的原因

废品种类	产 生 原 因
孔有锥度	车床床身导轨的不均匀磨损（靠近床头部分磨损严重）、床身水平面内产生扭曲以及车床主轴与床身导轨不平行，都会造成进给轨迹与工件轴线不平行，使镗出的孔产生锥度
	镗较深的孔时，由于刀杆刚度不足，镗刀磨损，切削力增大而产生“让刀”现象，或刀杆因歪斜与孔壁相碰，都会使孔出现锥度
孔不圆	车床主轴轴承磨损，镗出的孔会呈椭圆形或棱圆形
	薄壁工件在卡盘上夹持太紧，造成工件孔变形
	在使用中心架镗孔时，若中心架的三个支承爪支顶工件太松或工件支承部位不圆，也会镗出椭圆或棱圆孔

（续）

废品种类	产 生 原 因
孔壁有振痕，不光洁	车床主轴轴承间隙太大，镗孔时工件有振动，造成孔壁有振痕，不光洁
	镗刀角度选择不合理，如后角过小、刀尖圆弧半径较大、主偏角过小等都会造成径向力增大，而使刀具产生振动，使孔不光洁
	镗刀磨损、镗刀刀杆刚度不足也都会引起刀具振动，使孔壁出现振痕，表面粗糙度值加大

表 2-16 铰孔时产生废品的原因

废品种类	产 生 原 因
孔径扩大	车床尾座套筒中心与主轴中心不一致，尾座偏斜，使铰刀与孔中心不重合，若铰刀与尾座套筒间采用刚性连接，则铰出的孔径会扩大
	铰刀刃口径向振摆过大，切削速度太高，使铰刀温度升高，产生积屑瘤等都会使孔径扩大
	铰削余量过大、铰前孔不圆等都会造成铰孔铰刀振动，使孔径扩大
孔的表面不光洁	铰刀切削刃不锋利及切削刃上有裂口或崩刃，会使铰孔不光洁或铰出的孔有刮痕。铰削余量过大或过小，铰前孔不圆，都将使铰出的孔有振痕，不光洁
	铰削时如产生积屑瘤，则孔的表面粗糙度值会显著加大，所以铰削速度一定要在避免积屑瘤产生的切削速度范围内选取
	冷却润滑液选取不当或没有浇到切削区域，都会增大孔的表面粗糙度值

表 2-17 车圆锥时产生废品的原因及预防方法

废品种类	产 生 原 因	预 防 方 法
锥度不正确	用转动小滑板法车削时： 1. 小滑板转动角度计算错误 2. 小滑板移动时松紧不匀	1. 仔细计算小滑板应转的角度和方向 2. 调整镶条使小滑板移动均匀
	用偏移尾座法车削时： 1. 尾座偏移位置不正确 2. 工件长度不一致 3. 中心孔深浅不一致	1. 重新计算和调整尾座偏移量 2. 加工数量较多，各工件的长度、中心孔尺寸必须一致
	用仿形法车削时： 1. 装置的仿形角度调整不正确 2. 滑板跟靠板配合不良	1. 重新调整仿形装置角度 2. 调整滑块和仿形装置之间的间隙
	用宽切削刃车削时： 1. 装刀不正确 2. 切削刃不直	1. 刀具安装正确后，调整切削刃的角度 2. 修磨切削刃的直线度
	铰内圆锥时： 1. 铰刀锥度不正确 2. 铰刀的装夹轴线跟工件旋转轴线不同轴	1. 修磨铰刀 2. 用百分表和试棒调整尾座轴线
双曲线误差	车刀没有对准工件轴线	车刀必须严格对准工件轴线

表 2-18　车削特形面时产生废品的原因及预防方法

废品种类	产生原因	预防方法
工件曲面轮廓误差	采用双手控制法车削时，双手的配合速度(纵、横向进给)不协调	分析零件上曲面各点的斜率，然后根据斜率确定纵、横进给速度
	采用成形车刀车削时，切削刃形状与工件曲面轮廓不符，刀具装斜或切削刃没有严格对准工件中心	由于切削刃形状由工件曲面轮廓决定，所以，刃磨时要用样板对照找准，如果工件曲面精度要求较高，可以在工具磨床上刃磨刀具。车刀安装正确，不能歪斜，严格对准工件中心
	采用靠模法车削时，靠模体本身轮廓曲线有误差、安装得不正确或靠模传动机构中存在间隙。车削过程中刀具切削刃磨损及工件切削余量不均	选择合适的靠模体、正确安装靠模装置，调整靠模传动机构中的间隙。正确刃磨和使用车刀，保证车刀切削刃的锋利性。加工时选择合适的切削用量及保证工件精车余量均匀
	采用专用装置车削特形面时，如用圆筒形刀具车削，圆筒形刀具内径不符；如采用蜗杆蜗轮式车内、外圆弧，刀尖与蜗轮中心线的位置距离与圆弧半径有误差	圆筒形刀具内径应按计算后实际尺寸选择及刃磨；调节刀尖与蜗轮中心线的位置，使其距离与半径相等
工件表面粗糙	采用双手控制法车削时，双手进给速度过快、进给量过大或圆弧车刀切削刃不光滑、磨损；刀头伸出过长，车床主轴间隙过大或机床各部分的配合间隙过大，切削时产生振动	协调进给速度、采用较低的切削速度和较小的进给量，选择切削刃光滑、锋利的刀具；调节车刀刀头伸出的长度，调节主轴轴承间隙及机床各部分的配合间隙
	采用成形车刀车削时，刀具几何角度不合理、切削刃磨损或切削刃过宽，切削时产生振动；没有加注切削液或切削液选择不当	选择合理的刀具角度，保证切削刃锋利，控制切削刃宽度；加注充足的切削液
	采用靠模法车削时，进给量过大，传动机构中存在间隙，使车削时刀具窜动	合理选择切削用量，调节传动机构中存在的间隙
	采用专用装置车削特形面时，专用装置本身传动机构有间隙误差	消除专用装置本身传动机构的间隙

表 2-19　滚花时产生乱纹的原因及预防方法

废品种类	产生原因	预防方法
用滚花刀滚花产生乱纹	开始滚花时，由于滚花刀滚轮和工件表面接触面较大，单位面积上径向压力较小或者因滚花刀压紧力过小，使工件表面塑性变形不明显，而使滚压出的花纹较浅，出现乱纹	开始滚花时，可以将滚花刀装偏一些，增大单位面积上的作用力，使工件表面塑性变形加大，从而得到较深、清晰的花纹
	滚花刀转动不灵活，滚轮与刀杆配合间隙过大或滚花刀本身齿纹中有残留的细屑及轮齿磨损都会导致乱纹	清洗润滑滚花刀，清除花纹中残留的细屑，必要时更换滚花刀
	主轴转速过快，滚花刀轮齿选择不合理(过小)，而使滚花刀与工件表面产生滑动，造成乱纹	选择合理的主轴转速，一般取主轴转速较慢为最佳，同时选择合适的滚花刀轮齿
	滚花时，工件外圆周长不能被滚轮节距整除时而出现乱纹	选择合适的外径尺寸，一旦发现更换不同轮齿的滚花刀或将工件外径车小一些，重新滚压

表 2-20　车螺纹时产生废品的原因及预防方法

废品种类	产生原因	预防方法
螺距不正确	交换齿轮计算或搭配错误或进给箱手柄位置放错,使螺纹全长螺距都不正确	校验,认真计算交换齿轮齿数,并进行合理搭配,根据螺距大小合理放置手柄位置
	车床丝杠本身的螺距误差或主轴和丝杠的轴向窜动,螺纹局部上螺距不正确,此外从主轴到丝杠之间的齿轮传动有误差也会影响螺距误差	车削螺纹前,将主轴与丝杠轴向窜动和开合螺母的间隙进行调整,并将大滑板的齿轮与传动齿条脱开,使大滑板能匀速运动
	开合螺母镶条松动,导致床鞍移动时出现窜动	调整开合螺母镶条,必要时在手柄上挂重物
牙型不正确	车刀刀尖角刃磨误差,导致车削后螺纹牙型不正确	正确刃磨螺纹车刀刀尖角,根据径向前角的大小对刀尖角进行修正;并用螺纹角度样板认真测量校对
	车刀装夹不正确,产生螺纹半角误差,导致车削后螺纹倒牙或牙型歪斜	正确装夹车刀,安装时采用螺纹样板对刀,车刀刀尖严格对准主轴中心线
	车刀在车削过程中磨损,导致车削后螺纹牙底不清和螺纹两侧面不平直	选择合理的切削用量、切削液和及时修磨车刀
螺纹尺寸不正确	螺纹大径不正确,主要是由于车削螺纹前,外圆尺寸与螺纹大径的实际尺寸不符	计算螺纹大径,并正确车削螺纹大径的实际尺寸
	螺纹中径不正确,主要是由于吃刀太大而又未及时正确测量,因而造成螺纹的中径误差	车削时认真测量螺纹中径的实际尺寸
	螺纹小径不正确,一方面是车削过程中车刀刀尖磨损过大,导致车削螺纹后中径合格、小径不合格的情况;另一方面是螺纹的总背吃刀量大于或小于牙型高度	车削时经常检查车刀,发现磨损及时修磨,严格掌握螺纹的总背吃刀量与小径尺寸,并按计算尺寸车削
	螺纹牙底不清或有毛刺,造成实际尺寸与测量尺寸有误差	测量前去除毛刺,并保证牙底清晰
	螺纹车刀装夹时偏斜,使牙型偏歪,影响尺寸	正确装夹螺纹车刀,采用螺纹角度样板校对车刀装夹
	车刀刀尖角不正确,会造成车削后螺纹尺寸不正确	正确刃磨车刀刀尖角
螺纹表面不光洁	车刀切削刃不锋利,车削时切削刃上产生积屑瘤	认真刃磨刀具,保证车刀切削刃锋利
	车削时没有及时加注冷却液,排屑不当而拉毛已加工表面	用高速钢车刀精车螺纹时,为降低表面粗糙度值,一般加注冷却液,使排屑顺畅
	车刀伸出过长或刀杆刚性不够引起振动,造成车削后螺纹表面粗糙值大	刀杆不能伸出过长,选择刀杆刚性强的螺纹车刀
	车刀后角过小,造成车削时后面与螺纹两侧面摩擦,从而影响表面粗糙度	根据螺纹螺旋升角大小,合理刃磨车刀后角

（续）

废品种类	产 生 原 因	预 防 方 法
螺纹表面不光洁	切削用量选择不合理	用高速钢螺纹车刀车削时，切削速度不要过大，背吃刀量小于 0.06 mm。用硬质合金车刀高速车螺纹时，最后一刀的背吃刀量要大于 0.1 mm，使切屑垂直于工件轴线方向流出
	车床主轴间隙过大或机床各部分的配合间隙过大	调整车床主轴及各部分的配合间隙
扎刀和顶弯工件	车刀装得太低	安装车刀时，保证车刀刀尖与主轴旋转中心等高
	刀杆刚性差或刀杆伸出过长	刀杆不能伸出过长，选择刀杆刚性强的螺纹车刀
	主轴轴承部分和滑板塞铁太松或中滑板丝杠间隙太大	调整好丝杠螺母间隙，调整中滑板的丝杆间隙
	车刀径向前角太大时，径向力把车刀拉向工件	减小径向前角
	工件刚性差，切削用量选择不合理，特别是背吃刀量较大时，容易产生扎刀和顶弯工件现象	根据工件刚性大小来选择合理的切削用量

2.7.1 套螺纹和攻螺纹

1. 套螺纹时的注意事项

1）套螺纹前要先找准尾座，使尾座轴线和主轴轴线重合。

2）选用板牙时，注意板牙的规格，检查板牙牙齿是否完好。

3）板牙安装时，必须使板牙端面与车床主轴轴线相垂直。

4）套螺纹时应加注切削液。

5）工件直径在套螺纹前应车削小些，否则容易产生乱牙。

6）用自定心卡盘安装圆板牙时，注意夹紧力的大小，防止由于夹紧力过大碎裂板牙。

7）套 M12 以上的螺纹时，工件和工具一定要装紧，以免套螺纹时工件走动，或套螺纹工具在尾座内转动。

2. 攻螺纹时的注意事项

1）攻螺纹前要先找准尾座，使尾座轴线和主轴轴线重合。

2）选用丝锥时，注意丝锥的规格，检查丝锥牙齿是否完好。

3）装夹丝锥时，必须装正，不能歪斜，否则造成切削抗力不均匀，单边受力过大易折断丝锥。

4）攻螺纹时应充分加注切削液。

5）攻螺纹前孔的直径尺寸必须略大于螺纹小径，否则切削抗力加大，丝锥易折断或崩刃。

6）攻不通孔螺纹时，必须在攻螺纹工具或尾座套筒上做好标记，以控制攻螺纹的长度，防止丝锥与孔壁相碰，折断丝锥。

7）用同一套丝锥攻螺纹时，注意丝锥的使用顺序，并且在换用丝锥时及时清除孔中切屑。

2.7.2　车削梯形螺纹

1）在车削梯形螺纹前，应调整机床各处间隙，尤其是床鞍及中小滑板必须进行检查和调整，注意控制机床主轴的轴向窜动、径向圆跳动以及丝杠轴向窜动。

2）检查变换手柄和变换齿轮是否合乎加工螺距的要求。

3）梯形螺纹车刀两侧副刀刃应平直，否则工件齿形角不正；精车时刀刃应保持锋利，要求螺纹两侧面光洁。

4）采用两顶尖车削时，鸡心夹头或对分夹头应夹紧工件，否则，车削梯形螺纹时工件易产生走动而损坏。

5）对于精度要求比较高的螺纹零件，精车前，最好重新修正顶尖孔，以保证同轴度。

6）车梯形螺纹中途重新安装工件时，应注意保持拨杆原位。当中途重新装螺纹车刀车削时，应先重新对刀，以防乱扣，对刀时采用惯性对刀的方法。

7）车削时为了防止“扎刀”，最好采用弹性刀杆安装梯形螺纹车刀。

8）注意刻度盘的控制，防止进刀时中滑板刻度盘多进一圈。

9）在外圆上去毛刺时，最好把砂布垫在锉刀下面进行，同时工件旋转时，不可手摸工件，更不可用棉纱或布揩擦工件，以防危险。

10）车削梯形内螺纹时，尽可能利用刻度盘控制退刀，以防刀杆与孔壁相碰；车削铸铁梯形内螺纹时，容易产生螺纹面碎裂，用直进法车削时进给量不能太大；作为对刀基准的台阶，在内螺纹车好后，可利用倒内孔角去除，如长度允许可车去台阶再倒角。

2.7.3　车削矩形螺纹

1）在车削前，调整机床各处间隙，尤其是床鞍及中小滑板必须进行检查和调整。注意控制机床主轴的轴向窜动、径向圆跳动以及丝杠轴向窜动。

2）检查变换手柄和变换齿轮是否合乎加工螺距的要求。

3）矩形螺纹车刀两侧刀刃应平直、对称、刀刃锋利，要求螺纹两侧面光洁。

4）小刀架紧固，不能松动，防止车削时产生乱扣和扎刀。

5）用左、右90°偏刀精车牙侧时，要严格控制牙槽宽度。

6）主切削刃必须平行于工件轴线，与工件旋转中心等高。

7）要防止刀头磨得太窄或副偏角太大，以免在车削时进给量过大，造成刀头折断。

8）工件旋转时，不可用手摸工件，更不能用棉纱或布揩擦工件，以防危险。

9）要根据螺纹精度要求合理分配中滑板每次的进给量。

2.7.4　车削蜗杆

1）车削蜗杆前，根据蜗杆已知参数（齿顶圆直径尺寸和轴向模数）计算出车蜗杆时所需要的尺寸。

2）由于蜗杆的导程角较大，车刀的两侧后角应适当增减，一般取进给方向的工件后角加上一个导程角，另一侧后角应减去一个导程角。精车车刀的刃磨要求两侧切削刃平直，表面粗糙度值小。

3）车削模数较大的蜗杆时，为了提高工件的装夹刚度，一般采用一夹一顶的安装方式，对于有几何精度要求的各表面，应采用一次安装、一次加工的方法。

4）车削模数较小蜗杆时，为了保证几何精度要求，精车时，一般采用两顶尖定位安装。

5）精车时，为了提高蜗杆精度和减小表面粗糙度值，采用低速、薄切屑、大冷却液等措施。

6）测量蜗杆齿厚时，游标齿厚卡尺应与蜗杆轴线相交成一个导程角的角度在法向位置上进行测量，测量时注意齿顶圆加工余量带来的测量误差。

7）车削蜗杆时，精力要集中，退刀要及时，同时合理选择主轴转速，进给量要合理，防止碰撞卡盘和产生“扎刀”。

2.7.5　车削多线螺纹

1）车削多线螺纹时，由于多线螺纹导程大，车削时进给速度快，所以，车削时精力要集中，退刀要及时，同时合理选择主轴转速，防止碰撞卡盘。

2）由于多线螺纹螺旋升角较大，刃磨车刀时要注意两侧后角角度的选择。

3）在采用移动小滑板分线时，先检查小滑板行程量是否能满足分线要求。车削前，应调整小滑板的间隙，不能太松，以防止切削时产生的位移，影响分线精度。小滑板移动方向必须和机床床身导轨平行，否则会造成分线误差及螺旋槽的深浅不一。找正的方法是利用已车好的外圆（其外圆前后锥度应控制在0.02mm/100mm以内），找正小滑板导轨的有效行程对床身导轨的平行度误差。百分表表架安放在刀架上，百分表触头在水平方向与工件外径接触，手摇小滑板测量，误差不超过0.02mm/100mm。若有偏差，松开转盘前、后螺钉，进行微调，直至符合要求。分线时，小滑板手柄应朝一个方向旋转，防止由于丝杠和螺母之间的间隙而产生误差。

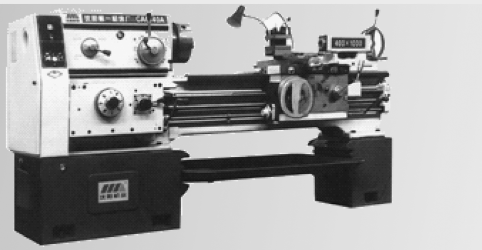
4）用百分表读数分线时，螺距数值不能超过百分表的量程。百分表测杆应平

行于工件轴线，否则会产生误差。同时，由于车削时的振动容易使百分表走动，在使用时应经常找正百分表零位。

5）精车螺纹时，要依次在各个螺旋槽中车削，车削时只能在牙型面上单面车削，以矫正赶刀或粗车时所产生的误差。经过多次车削，既能消除分线或赶刀所产生的误差，又能提高螺纹的精度和减小表面粗糙度值。

6）多线螺纹分线不正确的原因：小滑板移动距离不正确；车刀修磨后，重新安装中未检查对准原来的轴向位置，或随便赶刀，使轴向位置移动；工件未夹紧，切削力过大而造成工件微量移动，也会使分线不正确。

第 3 章



典型零件的车削加工

3.1　十字检具的车削加工

十字检具如图 3-1 所示。

3.1.1　主要技术要求与工艺分析

1. 主要技术要求

尺寸公差共 14 处；位置公差共 7 处，其中对称度加工难度较大。

2. 工艺分析

1）零件备料为 ϕ80mm×110mm、45 钢圆棒料，其形状全部通过车削加工完成，因此，应慎重考虑，制订好加工工艺路线，否则很难按图样要求成形。

2）两交叉十字轴中，长轴部分可采用一次装夹车出的方法，保证两端轴的同轴度和其他相关精度要求。短轴则必须靠找正基准的方法加工。

3）20mm×20mm×20mm 正方体不但有较高的尺寸精度要求，而且三组对边分别作为交叉十字轴两端 $\phi18_{-0.013}^{\ 0}$mm 外圆的对称度基准。因此，必须以适当的工序，选用正确的夹持基准和找正方法才能加工出来。

4）基于零件表面粗糙度和精度的要求，精车 $\phi18_{-0.013}^{\ 0}$mm 外圆应采用硬质合金刀具高速精车；精车 $\phi12_{\ 0}^{+0.018}$mm 内孔时，因孔径较小且长度达 70mm，内孔车刀刀杆强度较低，宜采用高速钢刀具低速精车。

3.1.2　参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

车夹持位→车削平面、钻中心孔→粗、精车长轴外圆、台阶→粗、精车基准面 C→粗、精车另一平面→粗、精车短轴一端→粗、精车短轴另一端→粗、精车内孔→检验。

（1）车夹持位　如图 3-2 所示形状、尺寸车出夹持位。

（2）调头　车削毛坯端面，钻 A2 中心孔，采用一夹一顶的装夹方式进行，

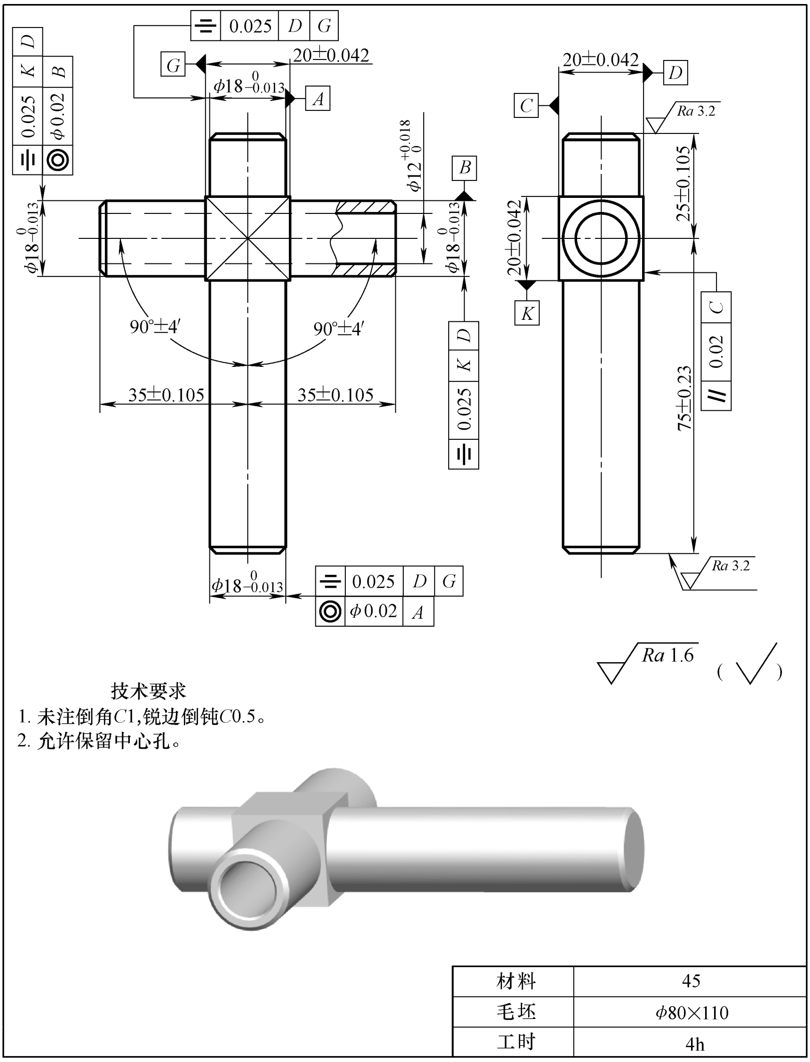


图 3-1　十字检具

粗、精车长轴外圆、台阶，各部分要求如图 3-3 所示。

技能大师经验谈：

如果将工件调转 180°装夹，在车削工件的长轴时，精车、测量尺寸较上述方法要方便些，但调头车端面、定总长却有一定困难。

硬质合金平面、外圆精车刀如图 3-4 所示，硬质合金刀片材料选择 YT15。精车时切削用量为：a_p=0. 08~0. 1mm，f=0. 08~0. 1mm/r，v_c=110~120m/min。

（3）车削 20mm×20mm×20mm 正方体的基准面 C　用单动卡盘垫纯铜皮按图 3-5 所示装夹，找正后车基准面 C。

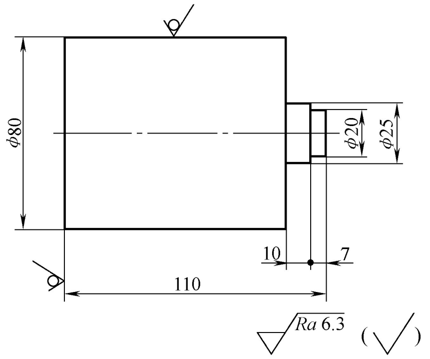


图 3-2　车夹持位

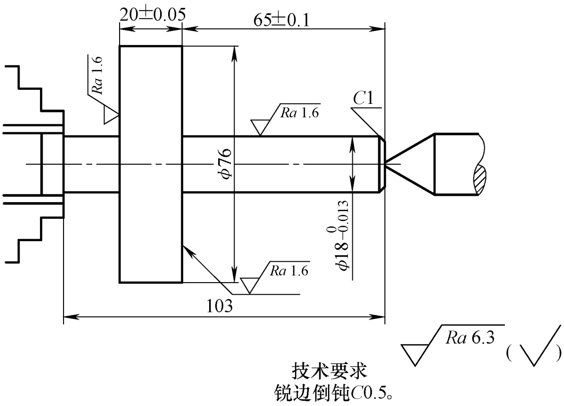


图 3-3　车长轴及正方体基准

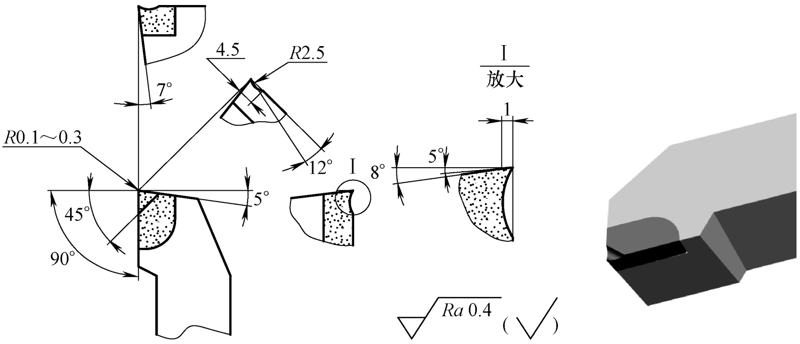


图 3-4　硬质合金平面、外圆精车刀

技能大师经验谈：

找正时，工件只需粗略地对正主轴中心即可（图 3-5），通过找正两端外圆表面的方法，将长轴轴线与主轴轴线找垂直。

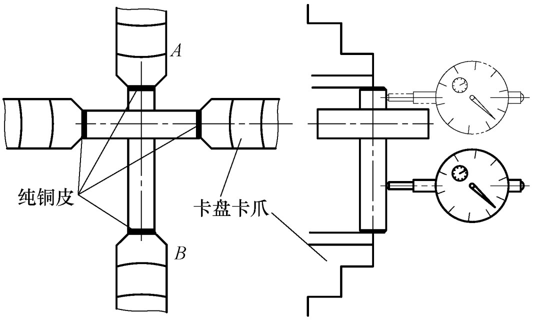


图 3-5　车削 20mm×20mm×20mm 正方体的基准面 C 的装夹与找正方法

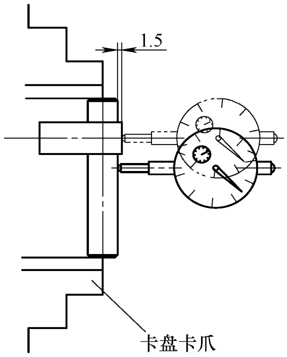


图 3-6　测量 C 平面到外圆的尺寸

车削平面到离外圆大约 1.5mm 时，应用百分表配合小滑板测量出平面至外圆的实际尺寸，如图 3-6 所示。再控制小滑板，将 1.5mm 车至 1mm。

（4）采用相同的方法可车削出 20mm×20mm×20mm 正方体的另一平面　即将工件调转 180°装夹找正后，车削与基准面 C 平行的正方体的另一面。装夹找正方法如图 3-7 所示。

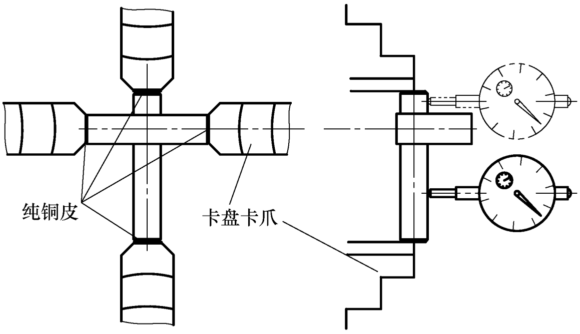


图 3-7　车削 20mm×20mm×20mm 正方体另一平面的装夹与找正方法

技能大师经验谈：

控制对边尺寸时，应兼顾尺寸精度与对称度。

（5）车削短轴的一端外圆　用单动卡盘一对卡爪夹持长轴的两端，另一对卡爪夹持短轴已车好的 20mm×20mm 方，如图 3-8 所示。

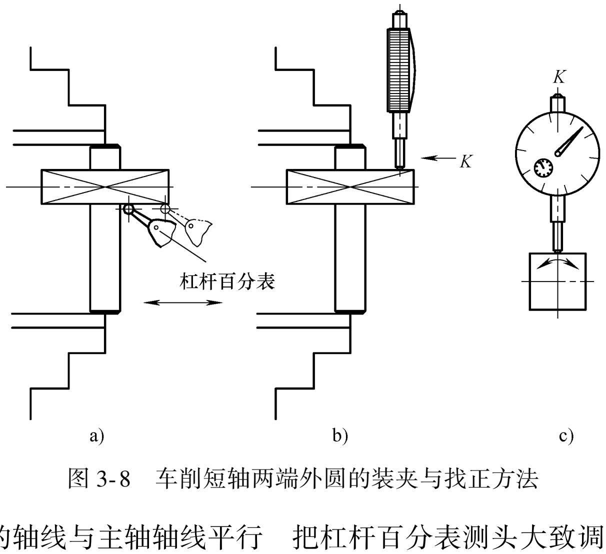


图 3-8　车削短轴两端外圆的装夹与找正方法

1）找正方的轴线与主轴轴线平行　把杠杆百分表测头大致调至车床主轴中心高度，按图 3-8a 所示摇动大滑板，间接找正一端短轴外圆的轴线与车床主轴轴线，使其平行，找正好一面后，将卡盘转动 90°，用同样的方法找正另一面。

2）找正方的轴线与主轴轴线重合，使车出的圆与方对称。如图 3-8b 所示，将

百分表表头大致放在20mm×20mm×20mm正方体平面的中心，使被测平面大致水平即可，百分表的压缩值取0.5mm为宜。用手扳动卡盘微微进行顺、逆时针方向转动，这时百分表的指针会因卡盘的顺、逆时针方向转动而出现最小极限值，将卡盘转动停留在最小极限值位置，转动百分表盘，使指针指向零位，如图3-8c所示。退出大滑板，切记不可摇动中滑板等其他部位。同样将卡盘扳转180°，摇进大滑板，采用上述方法找出最小极限值，比较与对边的差值。调整卡爪，使两对边百分表指示值相等时，说明该组对边的对称度基本校好，再用同样的方法找正另一组对边。在找正过程中难免会破坏前面已找正好的工件轴线与主轴轴线的平行度，必须在对称度找正好之后再检查找正。这两种找正必须交替进行，直到检查达到要求为止。

技能大师经验谈：

该工序的操作关键是找正20mm×20mm方的轴线与主轴轴线重合。

（6）车削短轴另一端外圆及孔　装夹与找正方法均同于上道工序，车削外圆及长度至尺寸后再钻、车$\phi12^{+0.018}_{0}$mm孔，如图3-9所示。

技能大师经验谈：

由于该孔的长径比达1∶5.8，且孔径尺寸公差只有0.018mm；表面粗糙度值较小，车削该孔有一定的难度。最理想的车削内孔的车刀是高速钢（W18Cr4V）内孔车刀。内孔车刀刀头如图3-10所示。

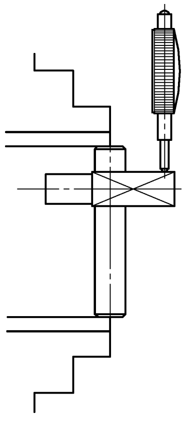


图3-9　车削短轴另一端外圆的装夹与找正

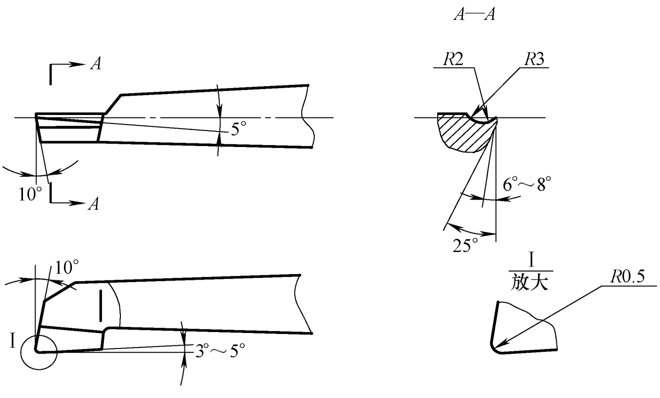


图3-10　内孔车刀刀头部分图

刃磨该内孔车刀时要注意以下几点：一是切削刃要处于与刀杆中心高大致相同的位置，这样在装刀时使刀杆居于工件孔的中心，除在车削时刀杆周边间隙均匀利于容屑外，还可适当增大刀杆直径以提高其强度。二是采用了双重后角和R0.5mm的修光刃，双重后角在保持了车刀所需的强度外，还增大了后面与孔壁间隙，减小了后面的研磨面积，增强了排屑能力。R0.5mm的修光刃是用磨石研磨出来的，它

对提高孔的车削精度、降低表面粗糙度值起到很重要的作用。该车刀形成切削刃的各表面的表面粗糙度 Ra 值均应小于 0.4μm。精车内孔时，内孔余量控制在 0.05~0.08mm，采用低速（转速选 100r/min 左右为佳），进给量选择 0.08~0.10mm/r，加注油类切削液。

3.1.3　主要部位的检验

1. 平行度的检验

20mm×20mm×20mm 正方体中，有一个面与基准面 C 的平行度误差不大于 0.02mm。检验时可用外径千分尺测量其四个角的尺寸差；还可用平板、百分表移动测量和比较正方体两平行面间四个角的测量值是否相等，其测量值差即为平行度误差。

2. 对称度的检验

对称度误差的测量是在平板上进行的，百分表测杆最佳压缩值为 1.5mm，测出平面数值，调零后，再测两端 $\phi18_{-0.013}^{\ 0}$mm 外圆上素线的数值，如图 3-11 所示。翻边用同样的方法测得另一组尺寸，两组尺寸的差值即为对称度误差。

3. 同轴度的检验

将工件外圆 $\phi18_{-0.013}^{\ 0}$mm 置于 V 形架的槽中，用百分表测量另一端 $\phi18_{-0.013}^{\ 0}$mm 外圆，用手转动工件一周后，百分表所得的测量值差即为该组的同轴度误差，如图 3-12所示。用同样的方法检验其他几组同轴度。注意：在用手转动工件时，尽可能使工件正方体平面紧贴 V 形架端面，减小轴向窜动，保证测量值的准确。

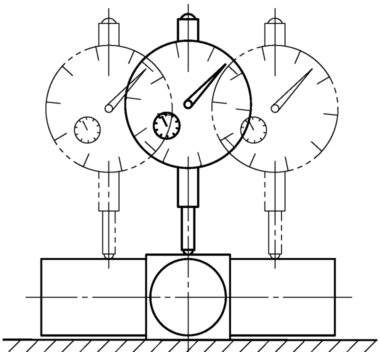


图 3-11　对称度的检验

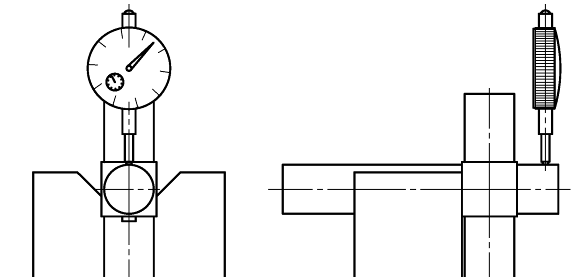
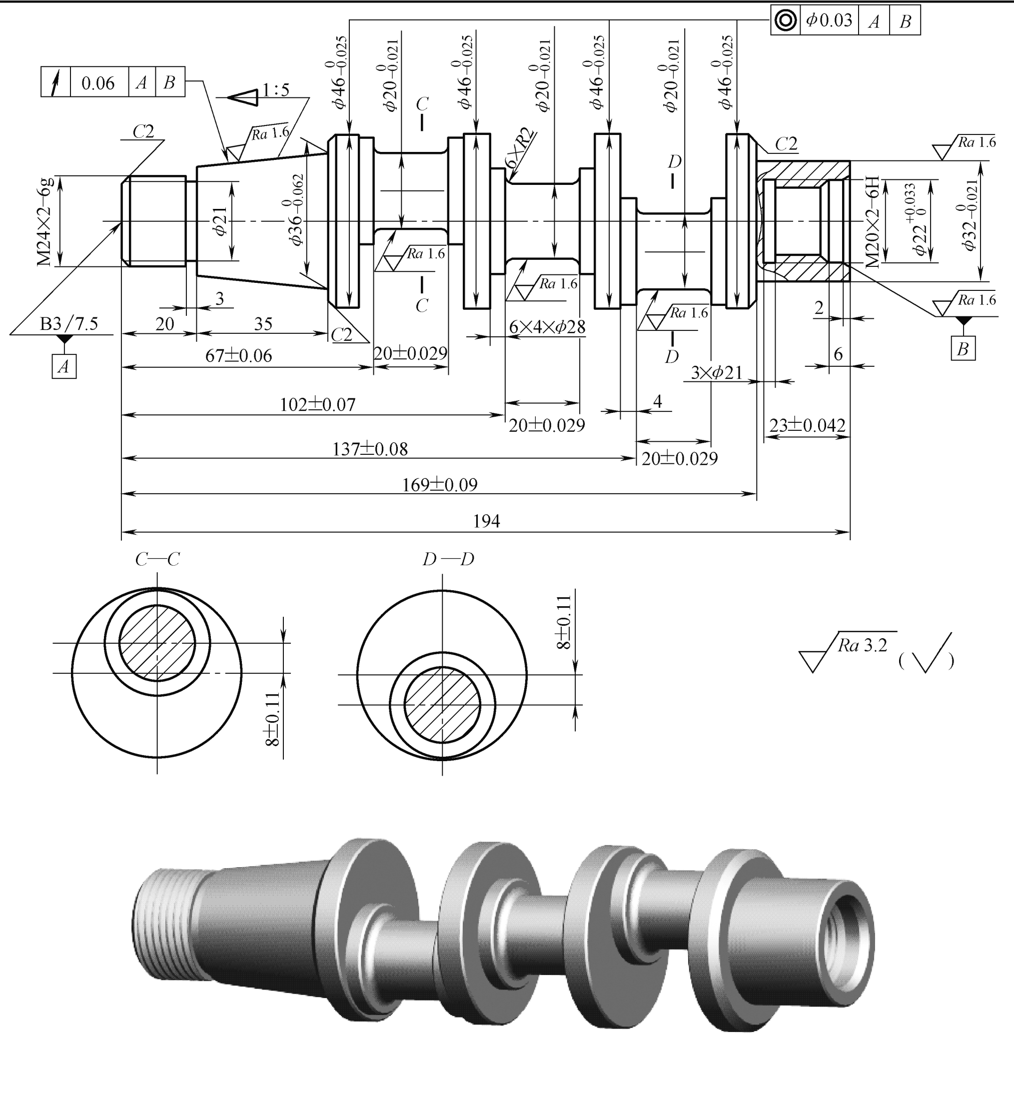


图 3-12　同轴度的检验

3.2　曲轴的车削加工

曲轴如图 3-13 所示。



技术要求

1. 锐边倒钝C0.5。
2. 内外普通螺纹只许用车刀车削加工。

材料	45
毛坯尺寸	φ50×198
工时定额	6h

图 3-13　曲轴

3.2.1　主要技术要求与工艺分析

主要尺寸精度要求有 20 处，几何公差有 5 处，并且有普通内外螺纹、圆锥等型面。曲轴的偏心距为 8mm，如图 3-13 所示。

1）影响加工精度的一个主要因素是中心孔的精度。为了保证偏心外圆轴线与其他轴线的平行度和相关精度要求，中心孔应处于相互平行的各偏心外圆轴线两端轴线上，否则将会造成加工后曲轴的几何公差与尺寸精度超差。在钻中心孔前，必须将工件轴线及偏心距找正准。精度要求更高的曲轴，中心孔一般都应在坐标镗床上加工。

2）曲轴装夹后，原工件的轴线已偏移一定距离，为了防止工件旋转打坏车刀和出现事故，起动主轴前，一定要将刀具离开偏心工件旋转的最大直径；另外，主轴转速一定要从低速逐渐提高，绝不允许直接、突然起动高速；在加工中切削速度也不能太高，进给时应先从工件旋转的最外缘处开始；车刀伸出足够长，并注意增强刀具刚度，严禁刀架与转动的工件相撞。

3）由于装夹刚性差，加之间断切削的冲击力和较大的离心力，会使切削产生振动、工件出现车削缺陷，影响加工质量。因此，应选择合理的切削用量；时刻保持车刀锐利，可以有效地降低切削力。车削曲轴毛坯可采用一夹一顶的方法，该法可大幅度地提高加工效率。

4）采用支承螺钉支承曲轴空档的办法可增强工件刚性，减小变形和振动。支承螺钉顶力要适中，顶得过紧会使工件弯曲变形，顶得太松则起不到支承作用，甚至发生加工中支承飞出的事故。

5）车削曲轴时，车刀在冲击载荷和断续切削作用力下易崩刃。因此，所选择的车刀刀头材料必须具有足够的抗冲击韧性和强度，本曲轴加工中选择 YT5 作为刀头材料较合适。

6）严禁在轴颈上留下车刀试切的痕迹。主要做法是精车背吃刀量要小，切削刃锋利，操作细心。

7）保持车床的几何精度和工作精度要求，使车床时刻处于良好的技术状态是车好曲轴的重要保证。

技能大师经验谈：

在工序与工步的设计中，应遵循先粗车的轴颈对后车削的轴颈的加工刚度影响较小和先精车在加工中最容易引起变形的轴颈部位的原则，使编排的工序能正常进行。

3.2.2　参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

车端面、定总长、钻两端中心孔→粗、精车外圆至 ϕ46.5mm→划线、钻偏心

中心孔→粗车中间曲颈→粗车左端曲颈→粗车右端曲颈→精车左端曲颈→精车右端曲颈→钻孔，粗、精车内孔及内螺纹→粗、精车右端曲柄→粗、精车左端曲柄（圆锥、外螺纹等），精车 $\phi46$mm 外圆→精车中间曲颈→检验。

1）零件备料为 $\phi50$mm×198mm，45 钢棒料。定总长、两端钻 $\phi3$mm 中心孔。

2）采用两端顶的方法，粗、精车外圆至 $\phi46.5_{-0.025}^{0}$mm，如图 3-14 所示。

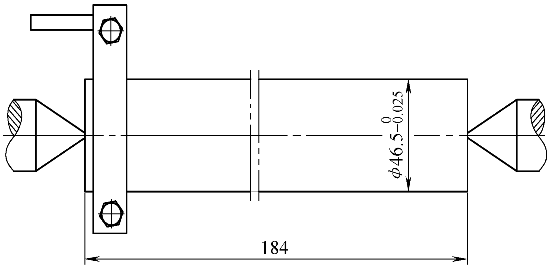


图 3-14　粗、精车外圆至 $\phi46.5_{-0.025}^{0}$mm

技能大师经验谈：

车削的外圆要求在尺寸公差之内；表面粗糙度 Ra 值小于 1.6μm；接刀处外圆直径可略车小些，为划线提供较准确的基准。

3）涂淡金水；划出三条相互平行的中心线（俗称腰线），如图 3-15～图 3-17 所示；钻偏心中心孔。

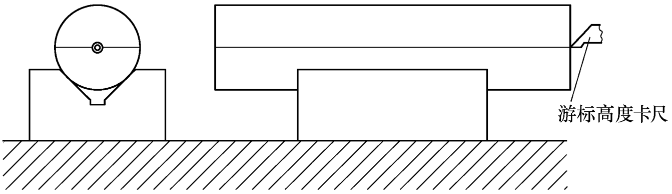


图 3-15　划端面及腰上的中心线

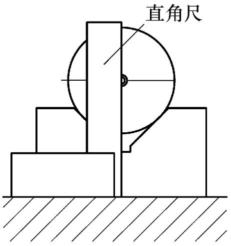


图 3-16　用直角尺找正中心线垂直

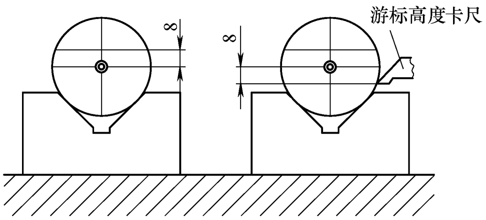


图 3-17　划偏心及腰上的中心线

技能大师经验谈：

划中心线应带入外圆实际尺寸和偏心距公差的中间值，用游标高度卡尺划出一整圈线，在关键位置及圆心处细心地打好样冲眼，特别是圆心一定要打准。

钻偏心中心孔有两种方法，一是用单动卡盘夹持找正后钻，钻前一定要找准所车削外圆轴线，使其与车床主轴轴线重合。建议使用大量程百分表进行找正；二是偏心距要求不太高的零件可用钻床钻，该工序是车削曲轴的最关键工序之一，要求

操作细心。

4）用单动卡盘装夹，粗车中间曲颈。车削曲颈的切槽刀如图 3-18 所示。

曲柄颈直径较小，切槽刀长度为 25mm、宽度不大于 4mm 较合适，相对而言切槽刀强度较差。因此，提高切槽刀的强度，保证正常切削是切曲颈时应解决的关键问题。曲颈切槽刀设计为鱼肚式，其各尺寸、角度如图 3-18 所示。刀片材料选择 YT5 硬质合金。

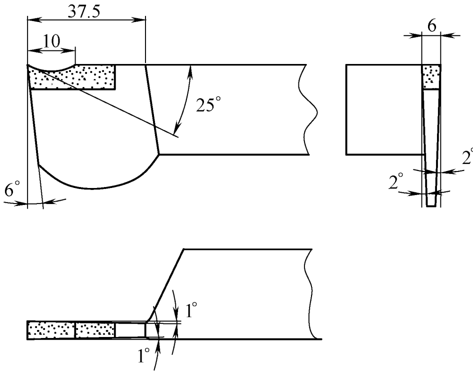


图 3-18　曲颈切槽刀

将图 3-13 中（20±0.029）mm 及（102±0.07）mm 均车至最大极限尺寸，粗车的曲颈如图 3-19 所示。

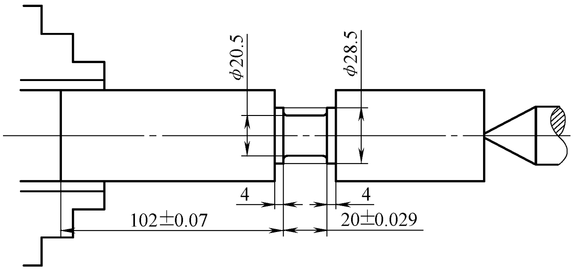


图 3-19　粗车中间曲颈

5）调头，一夹一顶，粗车左端曲颈，如图 3-20 所示。

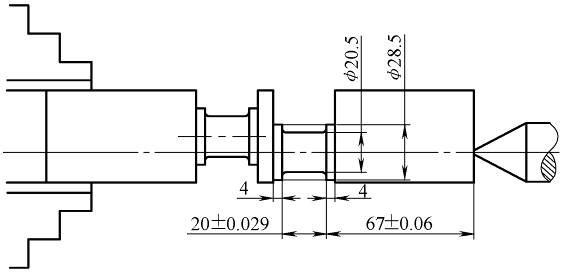


图 3-20　粗车左端曲颈

6）调头，一夹一顶，粗车右端曲颈，如图 3-21 所示。

技能大师经验谈：

如果曲轴的偏心距较大，可采用螺钉支承的方法增强轴的刚度，如图 3-22 所示。但此支承调整力应适当，力度过大将造成曲轴变形，力度过小不但不起支承作用，还会使零件飞出造成事故。

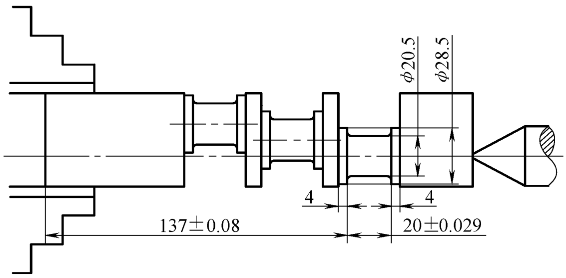


图 3-21　粗车右端曲颈

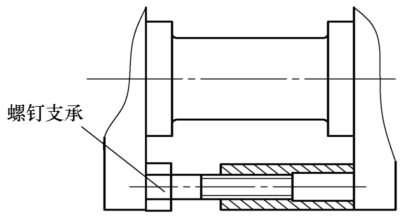


图 3-22　用螺钉支承增强刚性

7）一夹一顶，将右端曲柄车至 ϕ32.5mm，表面粗糙度 *Ra* 值为 1.6μm，作为架中心架基准，如图 3-23 所示。

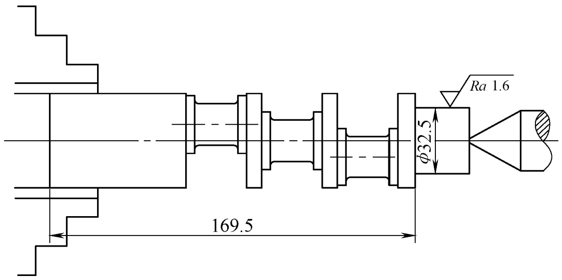


图 3-23　粗车右端曲柄

8）两端顶，分别精车左端和右端曲颈。

9）用单动卡盘装夹与找正，并在右端曲柄处架中心架，钻孔，粗、精车内螺纹和其他内孔各尺寸，如图 3-24 所示。

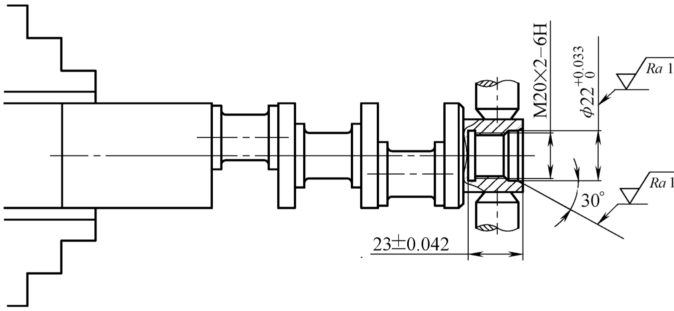


图 3-24　粗、精车右端内孔

技能大师经验谈：

中心架卡爪应在工件一夹一顶及百分表在找正区找正后再进行调整；调整时因工件的旋转摩擦，有较明显的手感，压力不宜过大。

时刻注意给中心架卡爪与工件摩擦处加全损耗系统用油润滑，防止温度过高

“抱轴”而拉伤工件表面。

10）调头，粗车左端曲柄，如图 3-25 所示。

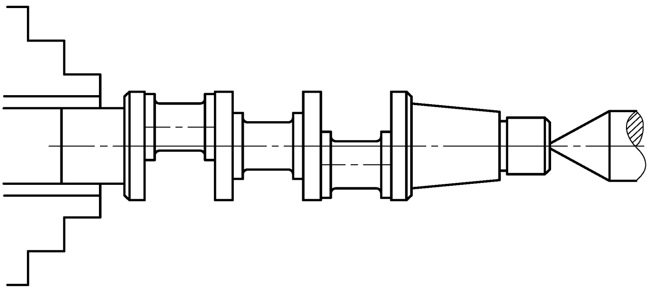


图 3-25　粗车左端曲柄

11）调头，精车右端曲柄外圆至尺寸，如图 3-26 所示。

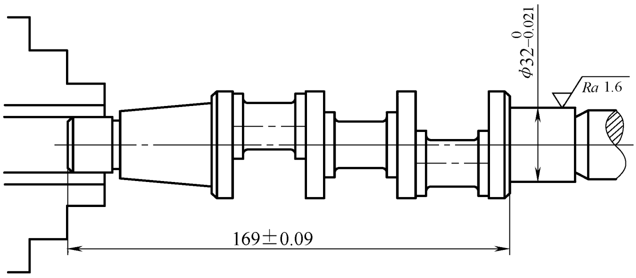


图 3-26　精车右端曲柄外圆

12）调头，两端顶，精车左端曲柄圆锥、螺纹等处；精车中间曲颈以及 $\phi46_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆至尺寸，如图 3-27 所示。

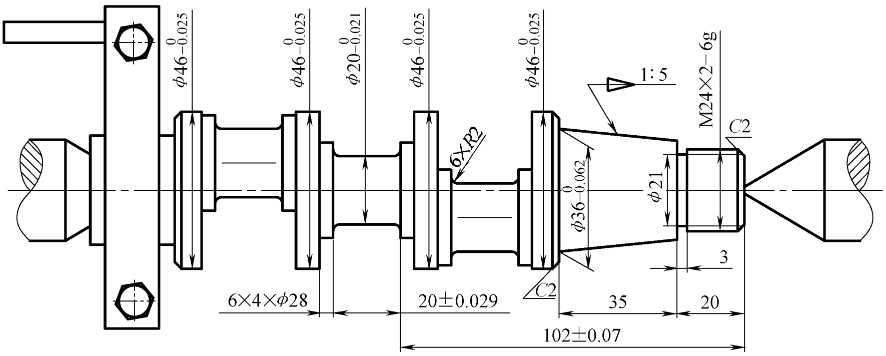


图 3-27　精车左端曲柄、中间曲颈及 $\phi46_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆

技能大师经验谈：

1∶5 圆锥宜采用百分表校小滑板搬角度的方法精车，用反向进给精车最后一刀，以便于控制圆锥大端尺寸。

曲颈可以使用 R2mm 的圆弧车刀精车，但切削刃必须锋利；精车时选择背吃刀量为 0.08~0.1mm、转速为 100r/min 左右为宜。

3.2.3　主要部位的检验

1. 偏心距的检验

采用两顶尖装夹的方法检验各轴颈间的偏心距，如图 3-28 所示。把百分表安装在刀架上，按图示将 30mm 的大量程百分表的测头放在已精车至 $\phi20_{-0.021}^{\ 0}$mm 的曲颈处外圆上压表，使曲轴做顺时针方向微量的转动，在最高点处将百分表调零。旋转一周后，使百分表触头指在 $\phi20_{-0.021}^{\ 0}$mm 外圆最低处读数。分别在两 $\phi20_{-0.021}^{\ 0}$mm 曲颈外圆测得的 A 处和 B 处的偏心距为：

A 处实际偏心距 $e=\dfrac{A_{max}-A_{min}}{2}$　　B 处实际偏心距 $e=\dfrac{B_{max}-B_{min}}{2}$

式中　A_{max}、A_{min}——在 A 处测量到的最大和最小极限尺寸（mm）；

B_{max}、B_{min}——在 B 处测量到的最大和最小极限尺寸（mm）。

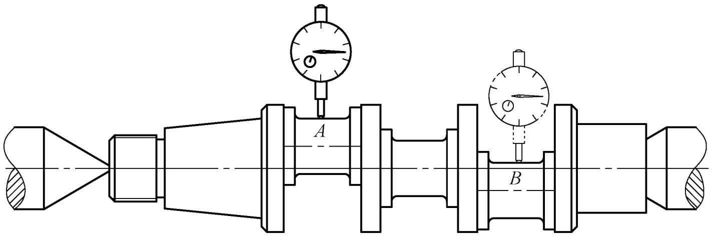


图 3-28　曲颈偏心距的检验

技能大师经验谈：

该法只适合在偏心距小于百分表量程的情况下使用。

在没有大量程百分表的情况下，可采用两顶尖装夹的方法。如图 3-29 所示，将百分表安装在游标高度卡尺上，游标高度卡尺放在已卸去刀架的小滑板上，百分表的触头在 $\phi20_{-0.021}^{\ 0}$mm 的曲颈外圆上压表，利用游标高度卡尺读整数，百分表读小数。

偏心距的测量方法还有很多，如利用量块、专用检具等测量。

2. 外圆同轴度的检验

如图 3-30 所示，两端顶，用手将曲轴转动一周，百分表所示读数即为 $\phi46_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆轴线相对基准 A、B 的同轴度误差。

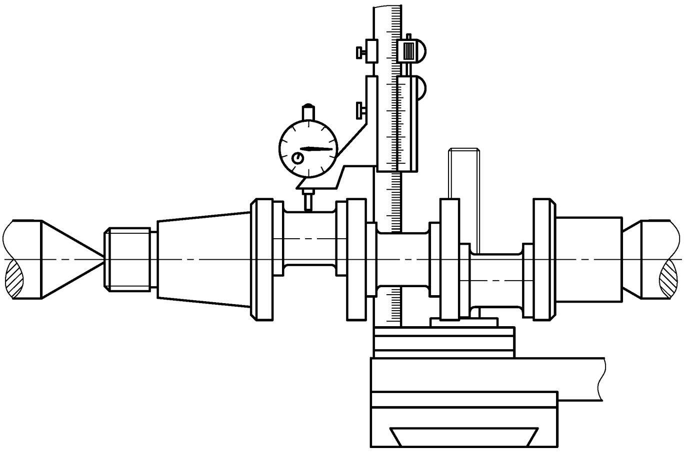


图 3-29　用游标高度卡尺配合检验曲颈的偏心距

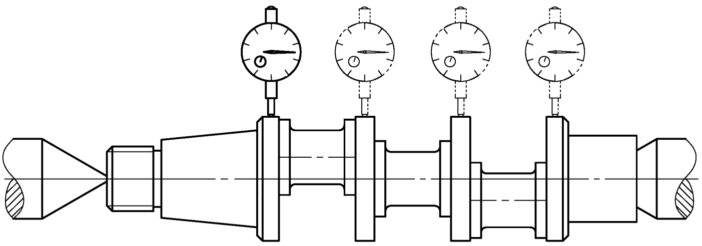


图 3-30　$\phi 46_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆相对基准同轴度的检验

3. 圆锥跳动的检验

如图 3-31 所示，两端顶，用手将曲轴转动一周，百分表所示读数即为圆锥外圆相对基准 A、B 的跳动误差。

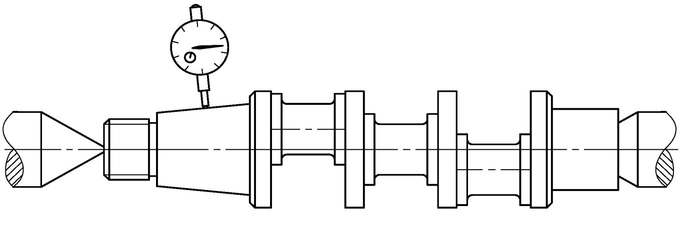


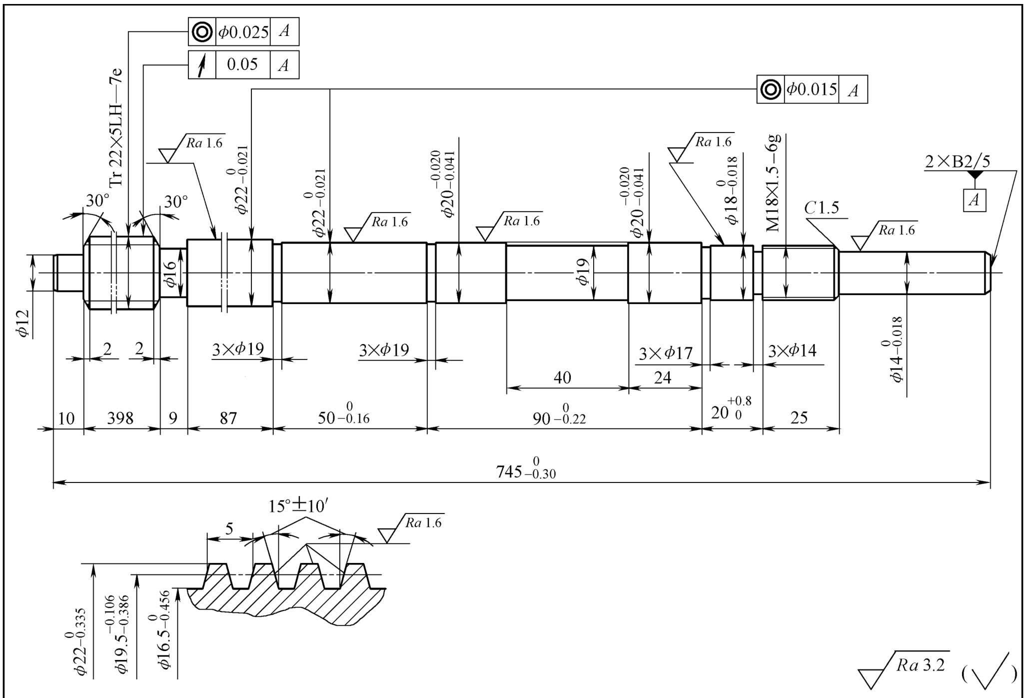
图 3-31　圆锥外圆跳动的检验

技能大师经验谈：

检验圆锥跳动时，为保证测值准确，百分表测头应垂直于圆锥测量面。

3.3 中滑板丝杠的车削加工

中滑板丝杠如图 3-32 所示。



技术要求

1. 不许使用锉刀、砂布等抛光加工表面。
2. 调质处理至 235 HBW。
3. 未注公差按 IT14 加工。
4. 锐边倒钝 C0.5 。

材料	45
毛坯	ϕ28×750
工时	4h

图 3-32 中滑板丝杠

3.3.1　主要技术要求与工艺分析

1. 主要技术要求

外圆尺寸精度要求有 6 处，几何公差有 7 处，梯形螺纹尺寸精度有 4 处。并且在加工过程中安排了热处理正火、调质、时效处理。

2. 工艺分析

本例为车床中滑板传动丝杠，材料为 45 圆钢。长径比为 1/33.86，工件为细长丝杠。在车削过程中，工件容易弯曲变形和产生振动，车螺纹时容易出现“扎刀”（车螺纹时，由于某些原因使车刀刀尖下沉，工件向上抬，造成车刀刀尖打坏、工件受损）现象，故尺寸精度、几何公差和表面粗糙度都难以保证。

1）考虑毛坯本身细长、弯曲和要经多次车削加工，所以适当加大毛坯余量至 ϕ28mm×750mm。在加工前和加工过程中安插必要的冷校直工序。

2）为了减小工件在加工过程中产生的变形，应使工件材质具有相对的稳定性和一定的强度，要求毛坯进行正火处理，在粗加工后进行调质处理，并在半精加工后、精加工前安排时效处理。

3）选用带保护锥的 B 型中心孔。在每次热处理后修研中心孔，使中心孔和顶尖的接触良好，并使表面粗糙度 Ra 值小于 0.4μm。

4）丝杠刚性差，易弯曲变形。装夹时应防止工件弯曲变形；在加工时应减小热变形；热处理和加工工序间存放要防止工件自重变形；切削过程中防止梯形螺纹“扎刀”而产生变形。

5）选择几何精度和技术状态较好的车床加工。

6）由于丝杠螺纹较长，螺纹车刀的磨损相对较大。因此，应合理选择刀具材料及几何角度；合理选择切削用量及充分地冷却润滑。

7）粗车时为提高功效，可采用一夹一顶的方法；精车时为达到丝杠技术要求，可采用两顶尖装夹工件。

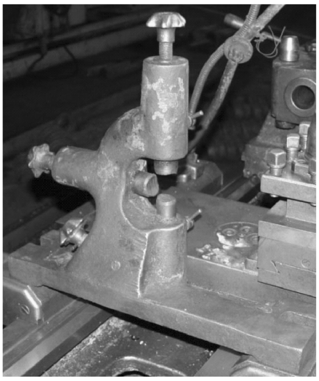
8）采用车削细长轴的各项技术，合理使用中心架和三爪跟刀架（图 3-33），避免产生波纹、竹节、棱边等缺陷。

3.3.2　参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

备料→正火处理→校直→车平面、钻中心孔→粗车台阶→调头、定总长、钻中心孔→调质处理、校直→半精车 a 各台阶→车普通螺纹→调头，粗车梯形螺纹→人工时效→研中心孔→半精车 b 各台阶、梯形螺纹→人工时效→研中心孔→精车各台阶、梯形螺纹→检验。

1）备料。ϕ28mm×750mm 的 45 钢。校直，保证全长弯曲小于 2mm。



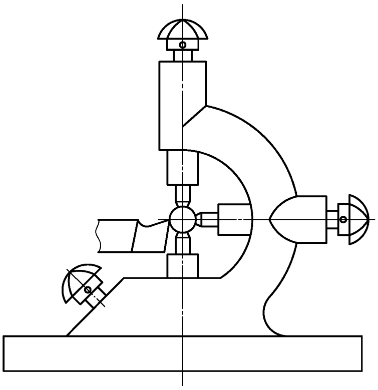


图 3-33　三爪跟刀架

技能大师经验谈：

对于弯曲度较大的坯料，宜采用热校直；如本例弯曲度在 5mm 以下的，可采用冷校直的方法。如图 3-34 所示，图上数字为反击校直的顺序，校直后，可在平板上滚动检查弯曲度。

反击法校直的扁锤内弧面圆弧直径应大于工件毛坯直径，如图 3-35 所示。

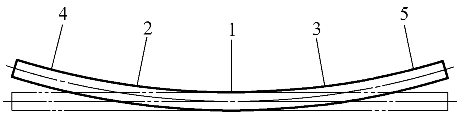


图 3-34　采用反击法校直

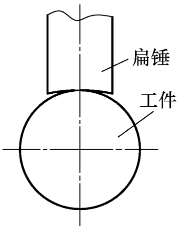


图 3-35　用扁锤敲击校直

2）正火。吊挂正火处理，至 163 ~ 183HBW。校直，弯曲度在全长上小于 1mm。

3）车端面、钻 B2 中心孔。

4）检查、调整机床。

技能大师经验谈：

将毛坯工件穿入机床主轴孔内，卡紧（塞木材或橡胶等物），防止甩弯。

钻中心孔时，注意 60°护锥面应钻得稍短些，以减小顶尖与锥孔的接触面，避免过定位。

车床主轴中心、尾座中心连线与车床导轨的平行度，主轴中心与尾座顶尖中心的同轴度，大、中、小滑板导轨间隙，均应能达到机床精度标准。

5）粗车。工件伸出 200mm 长，将图样 $\phi14_{-0.018}^{\ 0}$ mm×56mm 外圆尺寸先车至

$\phi17\text{mm}\times55\text{mm}$。

6）调头，定总长；钻中心孔；车跟刀架支承处的基准，可利用工件的支承基准外圆修研和调整跟刀架的支承爪。如图 3-36 所示，架跟刀架，夹 $\phi17\text{mm}\times15\text{mm}$，可采用垫钢丝环的方法避免装夹过定位；采用反向进给车削；粗车外圆留余量 3mm。各尺寸如图 3-37 所示。

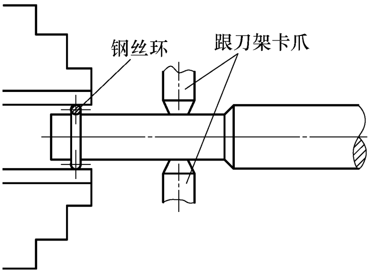


图 3-36　跟刀架卡爪的研磨

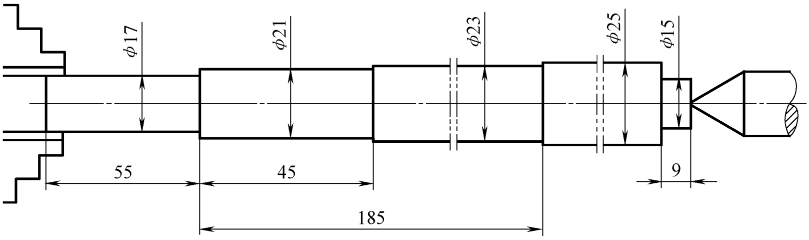


图 3-37　粗车外圆

技能大师经验谈：

（1）修研跟刀架支承爪步骤　粗车工件外圆，使其外圆的表面粗糙度 Ra 值在 6.3~12.6μm 之间，作为修研跟刀架支承爪的基准。修研时，主轴转速选择在 200r/min 左右，分别调整跟刀架的各支承爪与工件外圆表面接触，并施加一定的压力，修研至支承爪接触面圆弧与工件圆弧相吻合，如图 3-38 所示；再用切削液将金属粉末冲洗干净，并在接触面内注入机械油进行精研。经修研的支承爪增大了接触面积，提高了耐磨性和支承刚性。半精车与精车应视切削需要，重新研磨支承爪的圆弧面，调整好支承压力。

图 3-38 所示为跟刀架支承爪与工件外圆接触的几种情况。图 3-38b、c 所示均是线接触，支承爪在较长时间的摩擦下，易磨损，造成承受切削力较小，车削时产生振动，严重的会使工件产生棱柱形、椭圆形或麻花形等缺陷。

调整跟刀架支承爪应在工件旋转时进行，凭手感使支承爪刚好接触旋转的工件即可，顶力不能太大，否则将会出现“竹节”；但顶力过小支承爪又不能起到支承作用，工件将会产生切削振动，出现棱柱、椭圆、麻花形。为减小对机床精度的影响，调整支承爪的顺序应是：顺向进给切削时，先调上面

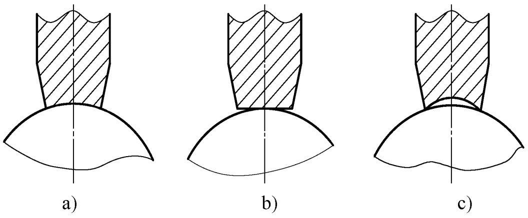


图 3-38　跟刀架支承爪圆弧的几种接触情况
a）与工件圆弧相同　b）大于工件圆弧
c）小于工件圆弧

支承爪，然后调侧面支承爪，最后调下面的支承爪；反向进给切削时，则先调下面支承爪，然后调侧面支承爪，最后调上面支承爪。

（2）车削细长轴时粗车车刀和精车刀刀具角度的选择

1）75°细长轴粗车车刀。图3-39所示为75°细长轴粗车车刀的主要几何角度：$\gamma_o = 15° \sim 20°$；α_o 为双重后角，角度分别为3°和5°；$\kappa_r = 75°$；$\lambda_s = -5°$；$b_{r1} = 0.2 \sim 0.3\text{mm}$。刀片材料为YW1。

该主偏角较大，可以减小径向切削力，防止工件弯曲变形和振动。主切削刃在刀头的右侧，故适合在反向进给粗车细长轴时使用。

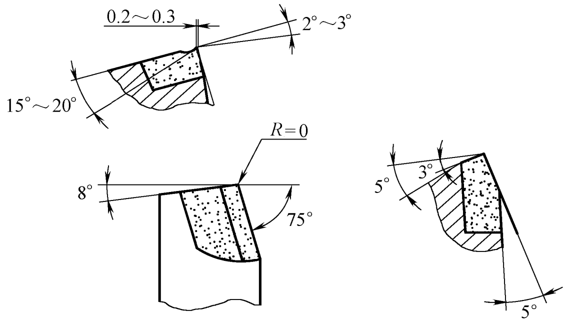


图3-39　75°细长轴粗车车刀

2）93°细长轴精车车刀。如图3-40所示，选择正刃倾角，选择负刃倾角 $\lambda = 3°$ 使切屑流向待加工表面，并使卷屑效果良好。$\kappa_r = 93°$ 并磨有横向卷屑槽，可减小径向切削力，提高切削性能；刀片材料为YT30。

3）宽刃精车车刀。图3-41所示为宽刃精车车刀，前角较大，刀片装在刀杆上之后的前角 $\gamma_o = 30°$，后角 $\alpha_o = 10° \sim 12°$，主切削刃，无倒棱，故刀具比较锋利；主切削刃宽度为（1.5~2）f，刃口平直，刃面的表面粗糙度 Ra 值为0.8μm。

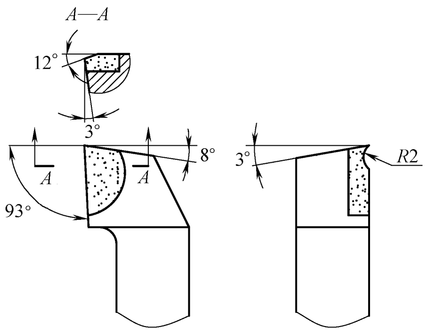


图3-40　93°细长轴精车车刀

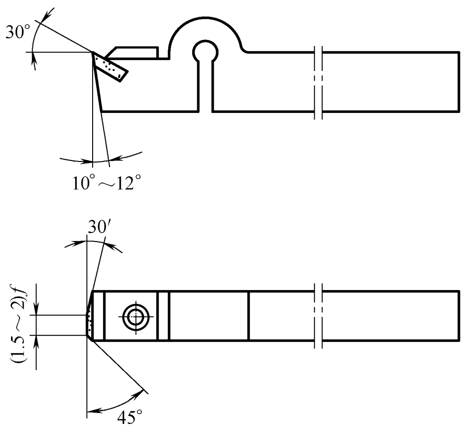


图3-41　宽刃精车车刀

7）热处理。调质处理；校直，外圆跳动误差小于0.5mm。

8）半精车a。架中心架，半精车各台阶至图3-42所示尺寸；车M18×1.5螺纹。

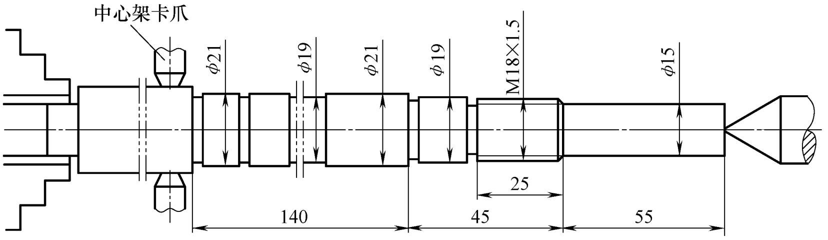


图 3-42　用中心架支承半精车外圆

技能大师经验谈：

半精车前要修研中心孔，使中心孔锥面与顶尖接触良好。

9）调头，用跟刀架支承梯形螺纹大径处，将梯形螺纹外径车至 ϕ23mm；粗车梯形螺纹牙型，如图 3-43 所示。

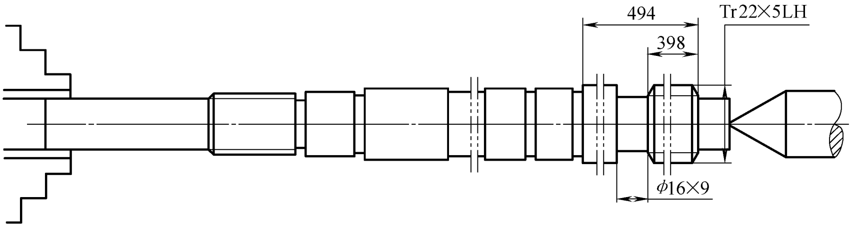


图 3-43　粗车梯形螺纹

梯形螺纹各部分名称、代号及计算公式，见表 3-1。

表 3-1　梯形螺纹各部分的名称、代号及计算公式

名　　称		代　　号	计 算 公 式			
牙型角		α	$\alpha=30°$			
螺距		P	由螺纹标准确定			
牙顶间隙		a_c	P	1.5~5	6~12	14~44
			a_c	0.25	0.5	1
外螺纹	大径	d	公称直径			
	中径	d_2	$d_2=d-0.5P$			
	小径	d_1	$d_1=d-2h_3$			
	牙高	h_3	$h_3=0.5P+a_c$			
内螺纹	大径	D_4	$D_4=d+2a_c$			
	中径	D_2	$D_2=d_2$			
	小径	D_1	$D_1=d-P$			
	牙高	H_4	$H_4=h_3$			
牙顶宽		f、f'	$f=f'=0.366P$			
牙槽底宽		w、w'	$w=w'=0.366P-0.536a_c$			
螺纹升角		ϕ	$\tan\phi=\dfrac{P}{\pi d_2}$			
三针测量公式		$M=d_2+4.864d_D-1.866P$　　量针直径 $d_D=0.518P$				

技能大师经验谈：

梯形螺纹粗车车刀的刀头材料采用 W18Cr4V，安装于弹簧刀杆上。

梯形螺纹粗车车刀各角度如图 3-44 所示，为提高粗车车刀刀尖的强度，车刀牙型角约为 40°；切削刃刀尖部分用磨石修研出 −5° 的倒棱，此倒棱宽度值视梯形螺纹螺距、工件材料而定，若螺距大、背吃刀量大、材料较硬，则可取大些。

粗车切削用量的选择：主轴转速为 50 ~ 70r/min，背吃刀量为 0. 1 ~ 0. 3mm。采用左、右切削法车至深度为 2. 5mm 即可；选用质量分数为 5% ~ 10% 的硫化乳化液充分浇注进行冷却润滑。

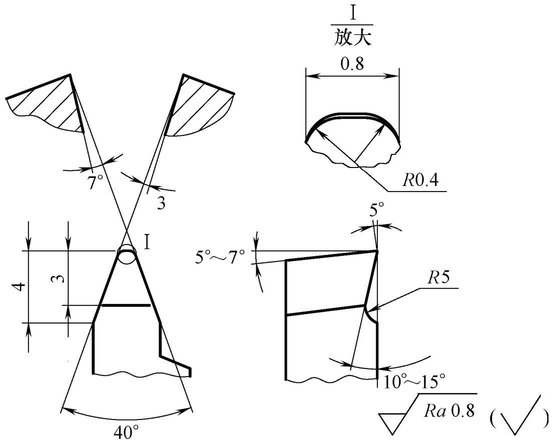


图 3-44　梯形螺纹粗车刀

10）人工时效。

技能大师经验谈：

时效中为防止变形，采用支架悬挂；时效后校直，在两顶尖间检查外圆跳动误差，应小于 0. 15mm。

11）研磨两端中心孔。中心孔锥面的表面粗糙度 Ra 值为 0. 4μm。

12）半精车 b。半精车各台阶及梯形螺纹。

技能大师经验谈：

半精车车，梯形螺纹车刀刀头材料采用 W18Cr4V，安装于弹簧刀杆上。车刀各角度如图 3-45 所示。

如图 3-46 所示，采用梯形螺纹样板进行对刀，使两切削刃夹角、角平分线垂直于螺纹轴线，刀尖与工件轴线等高。

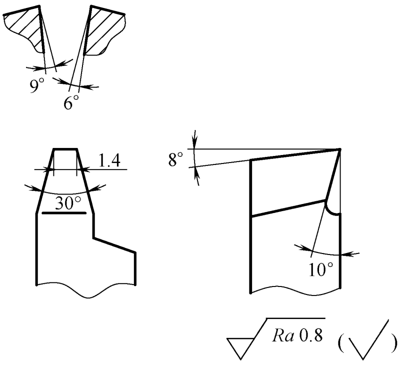


图 3-45　梯形螺纹半精车车刀

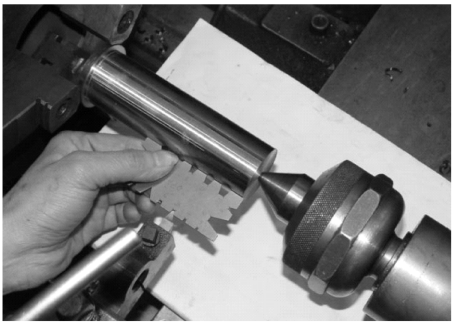


图 3-46　螺纹车刀的对刀方法

用此法对刀时应注意：一是照明灯不得直照在上刀面，而应照在铺设在下方的白纸上，通过白纸将光线从螺纹车刀与样板缝隙间反射上来，可非常清晰地看见这条白线；二是由于螺纹车刀在刃磨时牙型角存在一定的误差，在观察光线调整螺纹车刀时，应尽可能使两侧面的光线均匀；三是用作靠样板的基准，不论工件的外圆柱表面或端面，还是卡盘的端面，都应平行或垂直于主轴轴线，样板应尽可能保持水平。通过该法对好的螺纹车刀所车出的螺纹就不会出现倒牙现象了。内螺纹精车车刀对刀也用此法。

采用两顶尖的装夹方法，架上跟刀架，进行半精车梯形螺纹及各台阶。将 $\phi14_{-0.018}^{\ 0}$ mm 外圆放在主轴端，车螺纹大径及 $\phi22_{-0.021}^{\ 0}$ mm 外圆至 ϕ22.5mm。

以左、右切削法为主，精车底径至 ϕ16.5mm。车刀切削刃保持 1～2 刃切削，如遇三刃同时切削，则要进行“赶刀”（也称“借刀”，车螺纹时，为保证螺纹车刀单面车削，在车第二刀时，有意将小滑板向前或向后移动一段距离），以防止“扎刀”。切削速度选用 3m/min，主轴转速约为 42r/min，背吃刀量由大到小为 0.2～0.1mm。选用质量分数为 5%～10%的硫化乳化液，在切削过程中充分浇注，以冷却、润滑。

用 P5 梯形螺纹样板检查牙型，直到梯形螺纹样板与牙型周边间隙均匀为止。

13）人工时效（注意事项参照工序 10）。

14）精细研磨两端中心孔。

15）精车。精车各台阶及梯形螺纹。

技能大师经验谈：

两顶尖装夹，将 ϕ12mm 外圆放在主轴端，并用中心架支承。先精车 $\phi14_{-0.018}^{\ 0}$ mm、$\phi18_{-0.018}^{\ 0}$ mm、$\phi20_{-0.041}^{-0.020}$ mm、$\phi20_{-0.021}^{\ 0}$ mm 外圆。再调头精车 $\phi22_{-0.021}^{\ 0}$ mm 外圆及螺纹大径。

为了保证牙型精确，梯形螺纹精车车刀切削刃要求平直，角度准确，刃口锋利，表面粗糙度值小，耐磨性好，所以选用高性能的高速钢 W6M5Cr4V2Al；两切削刃夹角为 30°±5′；车刀径向前角为 0°；车刀在工具磨床上，以白钢刀条的左侧面为刃磨基准，磨削车刀角度，以便在后面工序中作为车刀安装找正的基准。由于车刀刀头宽度只有 1.7mm，故不好刃磨双月牙槽，用圆弧槽替代。具体磨法是：用 ϕ20mm 左右的指形砂轮调整成一定角度，磨削前面至 R10mm，使磨出的圆弧边与车刀已磨好的两侧主切削刃恰好相交，如图 3-47 和图 3-48 所示。两刀尖用磨石倒圆角 R0.05mm。由于前切削刃不参与切削，故刃磨较大的径向后角以解决牙型根部螺旋升角大的问题，达到两侧面表面粗糙度要求。刃磨后，应对各刀面进行精细研磨。

梯形螺纹的轴向齿形是直廓，除要使刀尖严格对准车床主轴轴心外，螺纹精车车刀的安装必须保证两侧切削刃位于通过被加工工件轴线的水平面上，并且使两切

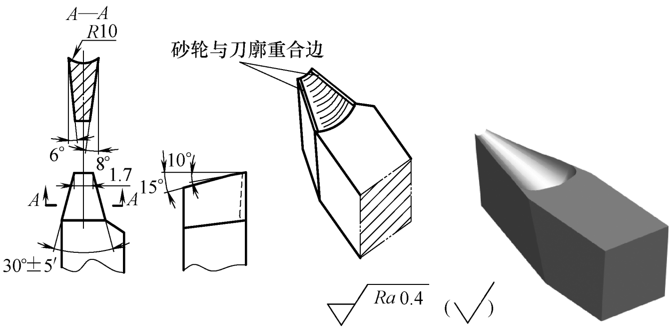


图 3-47　梯形螺纹精车车刀

削刃夹角角平分线与工件轴线垂直。因此，安装时，用梯形螺纹样板对刀，精度要求高的可采用百分表找正牙型角的刃磨基准面。如图 3-49 所示，将百分表固定在卡盘上，用百分表测头找正刀具的刃磨基准面。在精度需要更高和有条件的地方还可采用对刀显微镜对刀。

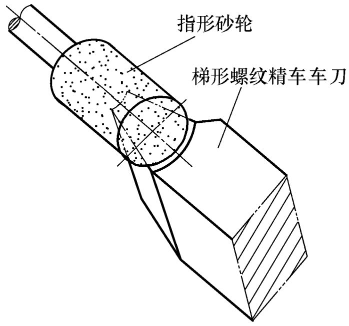


图 3-48　用指形砂轮磨前面圆弧槽

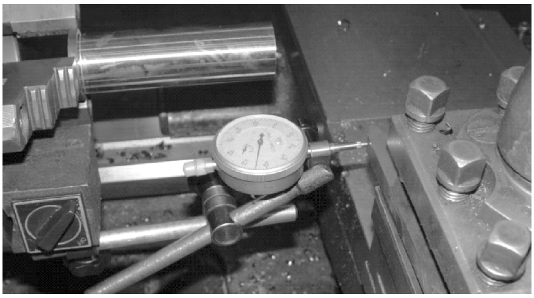


图 3-49　螺纹精车车刀的找正

使用跟刀架前，必须对跟刀架的支承爪进行研磨修整，使支承爪圆弧与工件外圆弧基本吻合。

精车选择切削速度 $v_c = 1\text{m/min}$、主轴转速 $n = 15\text{r/min}$、背吃刀量 $a_p = 0.02 \sim 0.05\text{mm}$ 较为合适。采用直进法车削时，选用润滑效果好的硫化切削油或植物油进行润滑、冷却。将中径车至尺寸要求，用三针测量法测量中径，量针直径为 $\phi2.59\text{mm}$，M 值（用公法线千分尺通过三针或量棒测出的数据）读数为 $\phi22.768^{-0.196}_{-0.366}\text{mm}$。

3.3.3　主要部位的检验

（1）中径的测量　三针测量法是测量梯形螺纹中径的一种比较精密的方法。测量时，将选定的三根直径相等的量针放在螺纹相对应的螺旋槽中，用公法线千分

尺测量出两边量针的顶点之间的距离 M，即可换算成中径的实测尺寸。

（2）同轴度、跳动的检验　同轴度、跳动等几何公差均可在偏摆仪上用百分表检验。

3.4　多头蜗杆的车削加工

多头蜗杆是指在圆柱体上具有两条或两条以上螺旋槽的蜗杆。

在车削多头蜗杆时，蜗杆齿形的各部分尺寸（图 3-50）按单个轴向齿距 p_x 计算，而调整进给箱手柄和交换齿轮时，则应按导程 p_z 来计算。

轴向齿距与导程的关系式为：$p_z = p_x n$

式中　p_z——导程（mm）；

p_x——轴向齿距（mm）；

n——头数。

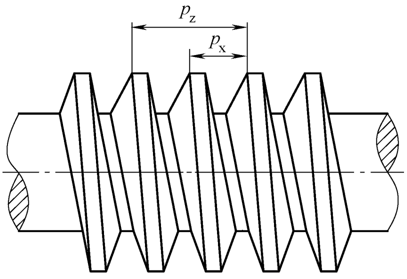


图 3-50　双头蜗杆的轴向齿距与导程

3.4.1　多头蜗杆的分头方法

1. 轴向分头法

轴向分头法就是按蜗杆导程车好第一条螺旋槽后，将车刀沿轴线移动一个齿距，再车第二条螺旋槽。按照零件图的精度要求，采用相应的加工方法来达到分头的目的。

（1）应用小滑板刻度和百分表分头　车好多头蜗杆的第一条螺旋槽之后，将小滑板移动一个齿距，再车第二条螺旋槽，直至将每个螺旋槽车完，这就是使用较广的小滑板刻度分头法。小滑板移动的距离还可通过百分表来控制，可将小滑板分头的分度精度由 0.05mm 提高到 0.01mm。由于小滑板移动在机床导轨的水平和垂直方向上存在不同程度的位置误差，所以这种分头方法的精度不高。在操作时，首先必须调整小滑板导轨与车床主轴轴线的平行度。该分头方法操作方便，适用于齿距≤8mm、分头精度不太高的场合。

（2）应用车床丝杠和百分表分头　当多头蜗杆的导程与车床丝杠成整数倍时，可采用正反车的方法，在车好第一条螺旋槽后停车，提起开合螺母，按照大滑板的刻线向前或向后移动一个或几个车床丝杠螺距（以 CA6140 型车床为例，车床丝杠螺距为 12mm，适合车削齿距为 12mm 或 12mm 整数倍的多头蜗杆），合上开合螺母，车第二条螺旋槽，直至将各头全部车完。

如图 3-51 所示，当车削蜗杆导程大，且与丝杠螺距不成整数倍的多头蜗杆时，还可采用车床丝杠加小滑板刻度、百分表相结合的方法来分头。用开合螺母移动与丝杠螺距成整数倍的部分，再用小滑板和百分表移动来完成剩余的距离。该方法简便、实用，适用于大导程多头蜗杆的车削。

（3）应用百分表和量块分头　对齿距较大的多头蜗杆分头时，会受到百分表行程的限制，这时，可根据尺寸加入一块或一组量块，量块尺寸正好等于工件导程。分头时移动小滑板，结合量块和百分表的组合来控制所需移动的距离。此方法适用于齿距精度要求较高且导程较大的多头蜗杆分头。

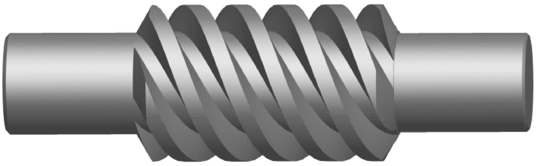


图 3-51　大导程多头蜗杆

2. 圆周分头法

多头蜗杆各螺旋线在圆周上是等角度分布的，因此当车好第一条螺旋槽后，将工件与丝杠传动链脱开，让工件旋转一个需要的角度后，重新接通工件与丝杠的传动链，继而车下一条螺旋槽，这种方法称为圆周分头法。

（1）利用自定心卡盘和单动卡盘分头　当工件采用两顶尖装夹时，利用卡盘拨动鸡心夹头的卡爪而进行分头，在车好第一条螺旋槽后，松开后顶尖，将工件连同鸡心夹头一起转动一个卡爪位置，再用顶尖支承好，车削下一条螺旋槽。由于此方法是用卡盘卡爪作为分头基准，所以，可利用自定心卡盘分 3 头蜗杆，用单动卡盘分 4 头蜗杆。

采用此方法分头方便、快捷，但由于卡爪本身的误差较大，使得工件的分头精度不高，另外，由于采用鸡心夹头装夹刚度较差，因此只适合多头蜗杆的粗加工。

（2）采用专用分头夹具分头　车削头数为 2、3、4 的多头蜗杆时，可利用简单的、装在交换齿轮架处的分度盘。此分度盘的分头原理与操作方法同于齿轮分头，分度盘的形状如图 3-52 所示，其分头精度取决于分度盘的制造精度。

使用分度盘车削双头蜗杆时，应采用 1、3 或 2、4 分头定位槽分头；车削 3 头蜗杆时，应采用 1、5、6 分头定位槽分头；车削 4 头蜗杆时，应采用 1、2、3、4 分头定位槽分头。

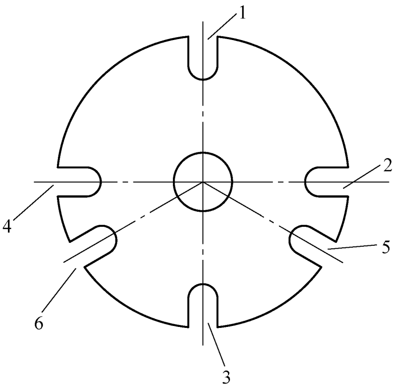


图 3-52　分度盘

3.4.2　蜗杆车削刀具

1. 粗车车刀

车削蜗杆时，由于需要去除的余量多，切削抗力大，容易产生扎刀现象，限制了生产率的提高。蜗杆齿形粗车车刀各角度如图 3-53 所示。为提高粗车车刀刀尖强度，车刀牙型角采用约 40°；切削刃的刀尖部分用磨石修研出 −5°的倒棱，此倒棱宽度值视蜗杆模数、工件材料而定，齿距大、背吃刀量大、材料较硬时此倒棱可取大些。

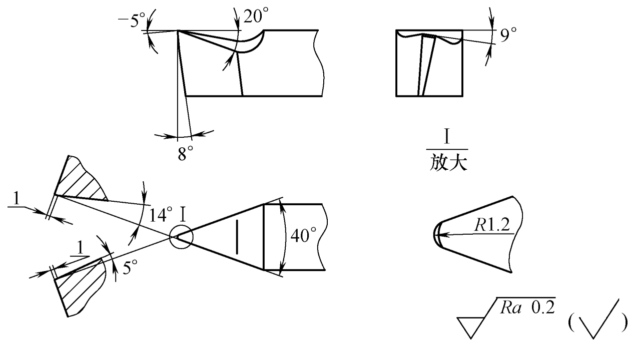


图 3-53　蜗杆齿形粗车车刀各角度

蜗杆粗车车刀应具有强度高、切削变形小、排屑顺利、散热好等特点。选用 W18Cr4V 或 W6Mo5Cr4V2 作为刀头材料。

另外，根据车削蜗杆对粗车车刀的要求以及使用方便，现介绍一种组合式齿形粗车车刀（图 3-54），它能较好地解决磨削导程角、装夹强度等问题。整个刀杆由刀头 1、刀杆体 2（图 3-55）、顶杆 3、调节螺杆 4 组成，刀头 1 装在刀杆体 2 的圆柱孔中，当刀架螺钉压紧带有 2mm 宽槽的刀杆体时，刀头被“抱死”，顶杆 3 与调节螺杆 4 用来调节刀头的伸缩距离。

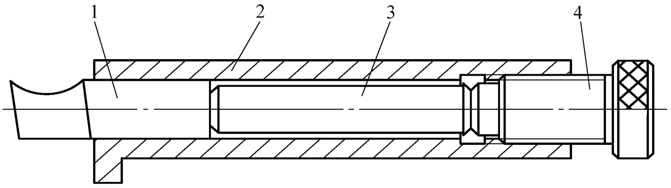


图 3-54　组合式齿形粗车车刀

1—刀头　2—刀杆体　3—顶杆　4—调节螺杆

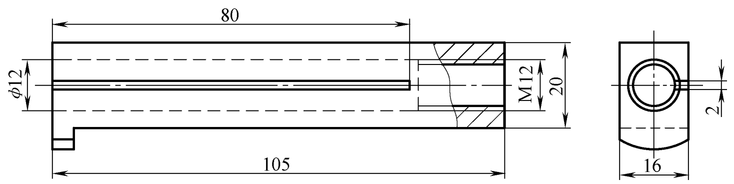


图 3-55　刀杆体

刀具材料采用报废的中心钻，它的硬度不但能满足蜗杆的强力车削，而且还具有较高的耐冲击性。同时，由于中心钻外圆是圆柱体，可以根据被加工蜗杆的导程角调整角度。所以在刃磨刀具时无须考虑导程角的大小。另外，由于采用的是报废的材料，避免了使用白钢刀条，刀具费用大大降低。

图 3-53 所示蜗杆齿形粗车车刀的特点是：

1）采用圆弧形刀尖，增强了刀尖强度，解决了刀尖散热问题。

2）采用圆弧形排屑槽，增大了实际前角，改善了排屑条件。

3）利用刀杆体上的台阶靠平四方刀架，能大大增加刀杆的强度和刀头的定位强度。

4）采用分层切削法加工，背吃刀量可以增加 1 倍。

5）刀具的几何角度与一般车刀没有什么区别，只是刀尖采用的是圆弧形，刀头宽度选取（0.7~0.8）×蜗杆槽底宽，刀头形状如图 3-56 所示。

6）在车削不同齿距的蜗杆时，只需更换不同的刀头，安装时旋转至需要的导程角，就可以满足不同齿距的车削。

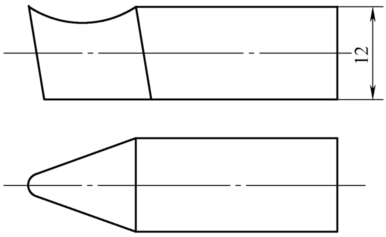


图 3-56　刀头形状

2. 半精车车刀

半精车车刀刀头材料采用 W18Cr4V，安装于弹簧刀杆上。采用径向前角，刀头宽度略小于蜗杆齿底槽宽度，齿形角为 40°。它的主要任务是清平牙底，让齿形面成形，并保证齿形各面精车余量均匀。

3. 精车车刀

精车车刀主要考虑的是如何在保证齿形角的前提下，让切削变得更加流畅，从而达到表面质量要求。精车车刀的材料一般采用 W18Cr4V，安装于弹簧刀杆上。

技能大师经验谈：

蜗杆齿形精车车刀各角度如图 3-57 所示。刀头材料选用 W18Cr4V 或 W6Mo5Cr4V2。此车刀的特点是：刀头强度高；刃口锋利、排屑顺畅；切屑变形小；散热条件好。装刀时用样板或万能角尺对刀，使车刀两切削刃夹角平分线与蜗杆轴线垂直。采用单刃车削，切削用量为：$v_c=1\sim4\text{m/min}$；$a_p=0.01\sim0.02\text{mm}$。

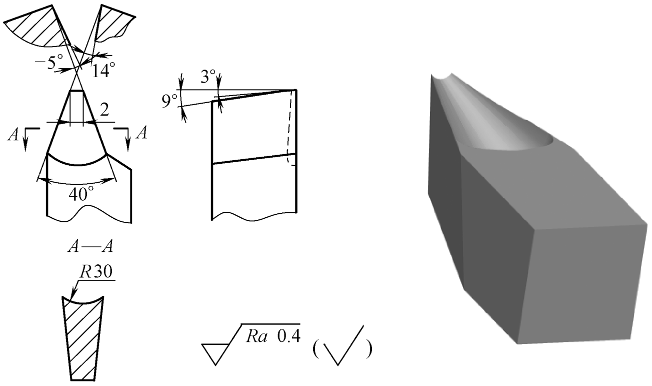
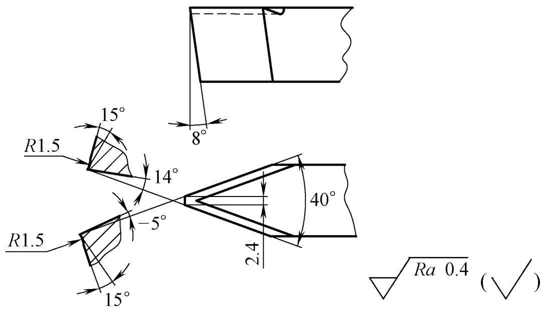


图 3-57　蜗杆齿形精车车刀

另一种蜗杆齿形精车车刀如图 3-58 所示。车削方法基本相同，适用于模数较



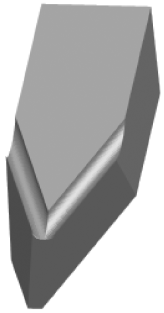


图 3-58　另一种蜗杆齿形精车车刀

大蜗杆的齿廓车削。

3.4.3　多头蜗杆车削实例

多头蜗杆如图 3-59 所示。

1. 主要技术要求

此例蜗杆是大径为 $\phi84_{-0.046}^{\ 0}$mm、压力角为 20°、轴向模数 $m_x=4$ 的三头、右旋阿基米德螺旋线蜗杆；有 2 处几何公差要求与 6 处尺寸精度要求，还有一处公差等级为 6g 的普通螺纹，如图 3-59 所示。

2. 工艺分析

1）粗车蜗杆时，由于导程大、齿形深、切削面积大，要求切削刚性好，故采用一夹一顶的装夹方式，增强工件刚性；粗车齿形时，采用法向安装法安装粗车刀，弥补导程角对车刀工作前、后角的影响，防止产生振动或造成“扎刀”现象。

2）精车齿形时，采用大前角、低转速等方法，正确选择车刀几何角度和切削用量；精车蜗杆时，车刀左、右切削刃组成的平面应与通过工件轴心线的水平面重合，须采用轴向安装法安装精车刀；精车时可利用百分表结合量块并移动小滑板进行多次循环分头，依次逐面车削；要选择几何精度和运动精度相对较高的车床加工。

3）由于工件导程较大，且是多头蜗杆，宜用齿厚卡尺测量蜗杆齿厚。

4）为保证切削顺利，齿面获得较高质量，粗、精车齿形应分别采用以冷却和润滑为主的切削液进行充分浇注。

3. 参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

车端面及夹持位→调头，定总长，钻中心孔→粗、精车蜗杆齿形及各台阶→调头，粗、精车台阶，车普通螺纹→检验。

1）按表 3-2 计算蜗杆的数据，根据数据做好车削前的技术准备工作。

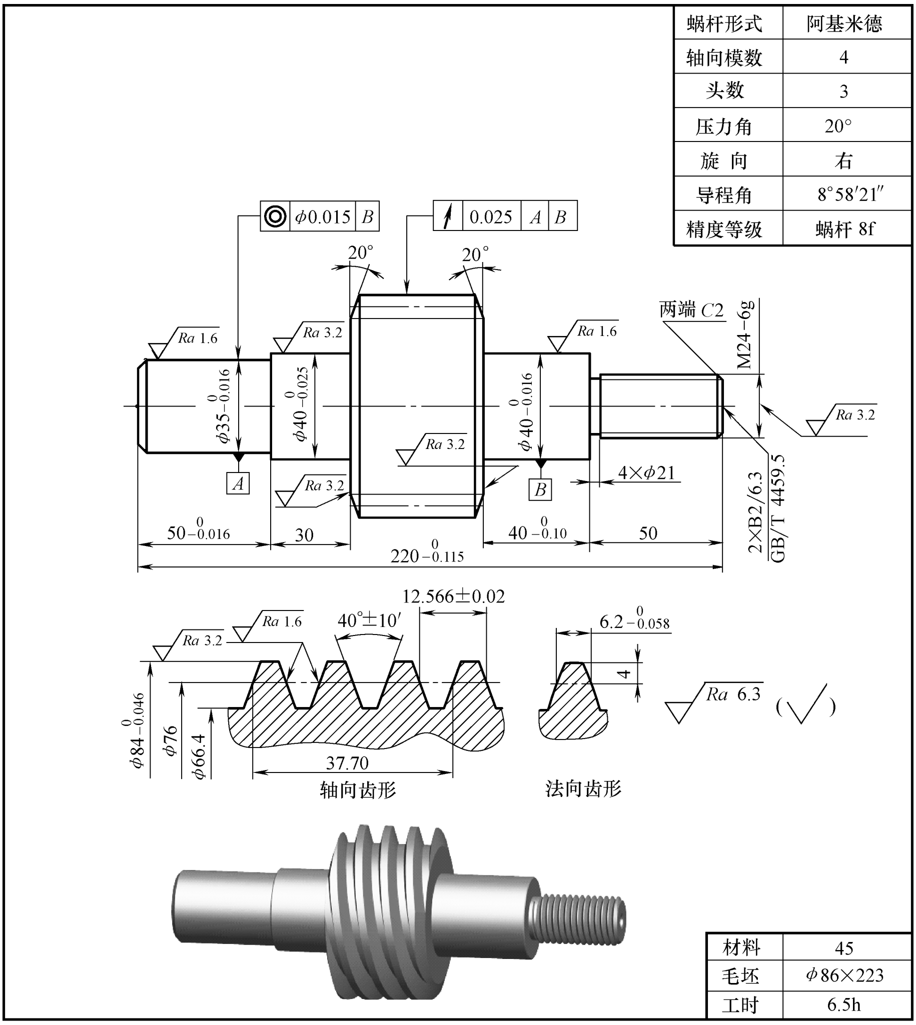


图 3-59　多头蜗杆

表 3-2　米制蜗杆各部分尺寸计算

名　称	代号	计 算 公 式	名　称	代号	计 算 公 式
轴向模数	m_x	基本参数	导程角	γ	$\tan\gamma=\frac{p_z}{\pi d_1}$
压力角	α	$\alpha=20°$			
轴向齿距	p_x	$p_x=\pi m_x$	轴向齿顶宽	s_{ax}	$s_{ax}=0.843m_x$
导程	p_z	$p_z=z_1\pi m_x$	法向齿顶宽	s_{an}	$s_{an}=0.843m_x\cos\gamma$
全齿高	h	$h=2.2m_x$	轴向齿根槽宽	e_{fx}	$e_{fx}=0.697m_x$
齿顶高	h_a	$h_a=m_x$	法向齿根槽宽	e_{fn}	$e_{fn}=0.697m_x\mathrm{cor}\gamma$
齿根高	h_f	$h_f=1.2m_x$	轴向齿厚	s_x	$s_x=\frac{\pi m_x}{2}$
分度圆直径	d_1	$d_1=qm_x=d_a-2m_x$			
齿顶圆直径	d_a	$d_a=d_1+2m_x$	法向齿厚	s_n	$s_n=\frac{\pi m_x}{2}\cos\gamma$
齿根圆直径	d_f	$d_f=d_1-2.4m_x$ $d_f=d_a-4.4m_x$			

2）车端面；车夹持位。

操作提示：

夹持位车成 ϕ80 mm×40mm，以台阶面作为轴向限位基准，防止切削力较大而使工件产生位移；当蜗杆模数、导程更大时，可采用单动卡盘装夹。

3）调头，车总长；钻中心孔 B2。采用一夹一顶的方法粗车、半精车各尺寸，如图 3-60 所示。粗车蜗杆齿形及各台阶。

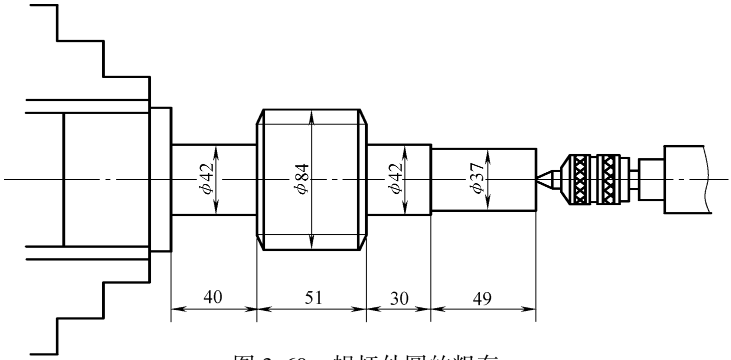


图 3-60　蜗杆外圆的粗车

技能大师经验谈：

粗车切削用量：v=6~18m/min，a_p=0.3~0.5 mm。

采用冷却、润滑效果较好的 10%硫化乳化液充分浇注。

蜗杆车削切削用量参考值见表 3-3。蜗杆齿形车刀主要角度参考值见表 3-4。

表 3-3　蜗杆车削切削用量参考值

加工性质 \ 参考值 \ 项目	切削速度 v(m/min)	主轴转速 n/(r/min)	背吃刀量	分头方法
齿形粗车	15~30	126~63	先大，逐渐减小，为 0.5~0.1mm；侧面 0.5~0.1mm	按所划螺旋线，车至留约 0.1mm 余量即可
齿形精车	1~3	4~13	0.03 ~ 0.01mm；侧面 0.03~0.01mm	利用百分表、量块，配合小滑板分线

表 3-4　蜗杆齿形车刀主要角度参考值

加工性质 \ 参考值 \ 项目	齿形角	前角	后角	特　点
齿形粗车	40°	20°(斜面带圆弧形前角)	前端双重后角分别为 2°和 8°，左、右侧后角分别为 −5°和 14°	后刀面磨有 0.5~1mm 宽的刃带，刀尖磨成 R1.2mm 圆弧形，并有 −5°倒棱，强度好
齿形精车	40°	15°~20°(内凹圆弧)	前端双重后角分别为 3°和 9°，左、右侧后角分别为 −5°和 14°	前切削刃不参加切削；齿形角度准确，直线性好

车削前检查、调整中小滑板镶条间隙，此时镶条可略调紧些。将小滑板摇至适当的位置，满足向前移动分头所需的行程要求，并对小滑板导轨与床身导轨的平行度进行找正，保证误差在 0.02mm/100mm 范围以内。

粗车各台阶，各部留 1mm 余量，半精车蜗杆，齿顶圆留 0.1mm 余量。

为防止粗车分头误差过大，可以先用刀尖划线，分别按序号把螺旋线划出来，如图 3-61 所示，车去应车部分，这样可减少分头的次数，提高功效。但切记，粗车时只能车到所划轨迹线的边缘，不得超越，否则精车余量不足。

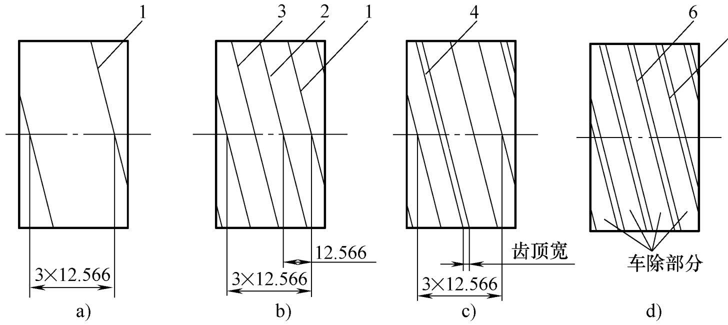


图 3-61　蜗杆螺旋线的划线方法

采用左、右切削法进行车削。粗车完第一条螺旋槽后，不需分线，可直接用小滑板对刀车第二、三条螺旋槽；车削过程中，以所划螺旋线边沿为基准，车至齿深尺寸。

4）精车蜗杆齿形及各台阶。精车齿形的方法如图 3-62 所示，先将精车车刀前切削刃触及齿形底面，将中滑板刻度调零，采用小滑板进给车削 *A* 面，车至所刻线的边缘（约 0.1mm）；用百分表和量块轴向分线后，不动小滑板，而改用中滑板进给车削第二线的 *B* 面至零位；车完 *C* 面后摇小滑板在 *D* 面对刀，同法车好 *D*、*E*、*F* 面。在车 *D* 面时用游标齿厚卡尺测量控制齿厚在 0.3mm 左右，改一夹一顶为两端顶，循环分线，依次逐面精车齿厚至尺寸，精车齿顶圆及各台阶。用润滑效果较好的硫化切削油或植物油充分浇注进行润滑冷却。

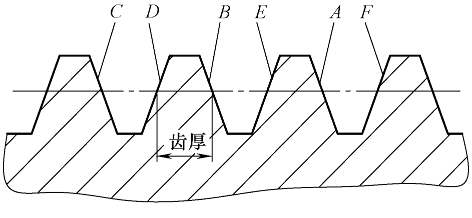


图 3-62　蜗杆齿形车削分头方法

5）采用一夹一顶粗、精车 M24 普通螺纹，用螺纹环规检验。

4. 主要部位的检验

1）用游标齿厚卡尺测量蜗杆法向齿厚。

2）蜗杆齿顶圆径向圆跳动误差可用百分表在偏摆仪上检测，手缓慢转动蜗杆一周，百分表测头读数的最大变动量即为圆跳动误差。

3）检测阿基米德蜗杆齿形误差应在轴向截面上进行，用万能工具显微镜等仪器检测。

3.5　薄壁套的车削加工

薄壁套如图 3-63 所示。

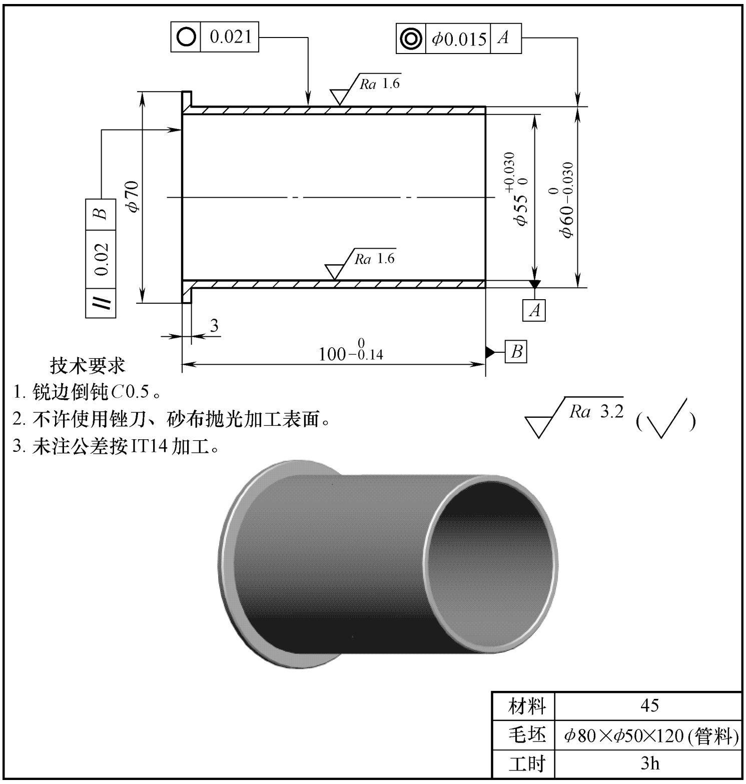


图 3-63　薄壁套

3.5.1　主要技术要求与工艺分析

1. 主要技术要求

尺寸精度、几何公差分别共 3 处。

2. 工艺分析

1）为保证同轴度、平行度能达到要求，内孔与外圆端面精车、切断必须在一次装夹中完成。

2）工件表面粗糙度值低、精度要求较高，车刀刃口要刃磨锋利，磨出较大的前角、后角、主偏角；正刃倾角，不磨倒棱。精车时，应采用高速钢车刀低速精车各尺寸。

3）在加工中应防止夹紧力、切削力、内应力的重新分布及切削热等引起的变

形。可采用下面一些工艺措施：

① 粗、精车分开。粗车后将薄壁工件冷却至室温再精车，可避免切削力过大和切削热过高而引起的变形。

② 精车前略松卡盘，重新用适当夹紧力夹紧工件，可减小薄壁工件因夹紧力引起的变形。

③ 下料时，适当加长毛坯尺寸（此例毛坯材料加长 20mm）。在离工件左端 4mm 靠近卡盘卡爪处切一处工艺槽，减小引起薄壁工件变形的一部分作用力。

④ 增大装夹接触面，采用开缝套筒或特殊的软卡爪，使装夹时接触面增大，夹紧力均匀分布在工件大部分外圆上；或采用轴向夹紧夹具，可减小夹紧工件时造成的变形。

3.5.2 参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

车夹位→调头，粗车内、外圆→半精车内、外圆→切工艺槽→精车内、外圆→倒角→切断→检验。

1）在 ϕ80mm×ϕ50mm×120mm 的毛坯料上车出夹持位，如图 3-64 所示。

2）粗车内、外圆，均留 0.5mm 左右精加工余量。

技能大师经验谈：

车内孔时，孔深度车至 101~102mm 即可，这样可提高装夹刚度。

3）切出工艺槽，如图 3-65 所示。

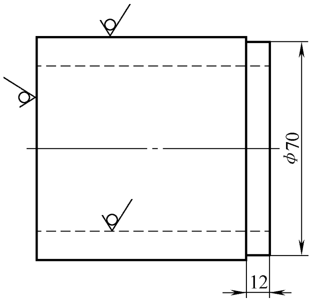


图 3-64　车夹持位

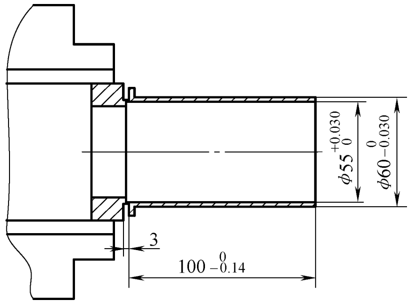


图 3-65　切断前工件的形状尺寸

技能大师经验谈：

切工艺槽前，略松卡盘卡爪，重新轻夹工件；工艺槽用 3mm 宽高速钢切刀，工艺槽底径切到 ϕ57mm，主要是为了减小薄壁套变形。

4）半精车内、外圆。留 0.08~0.10mm 精车余量。

5）精车内、外圆，内、外圆倒角。内孔倒角刀如图 3-66 所示。

6）切断。

技能大师经验谈：

可采用摇小滑板刻度盘的方法控制薄壁套的长度误差，但摇出的尺寸应为 99.93mm 的中间尺寸。快切断时，注意用木棒插入孔内，接住薄壁套。

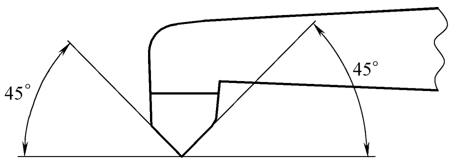


图 3-66　内孔倒角刀

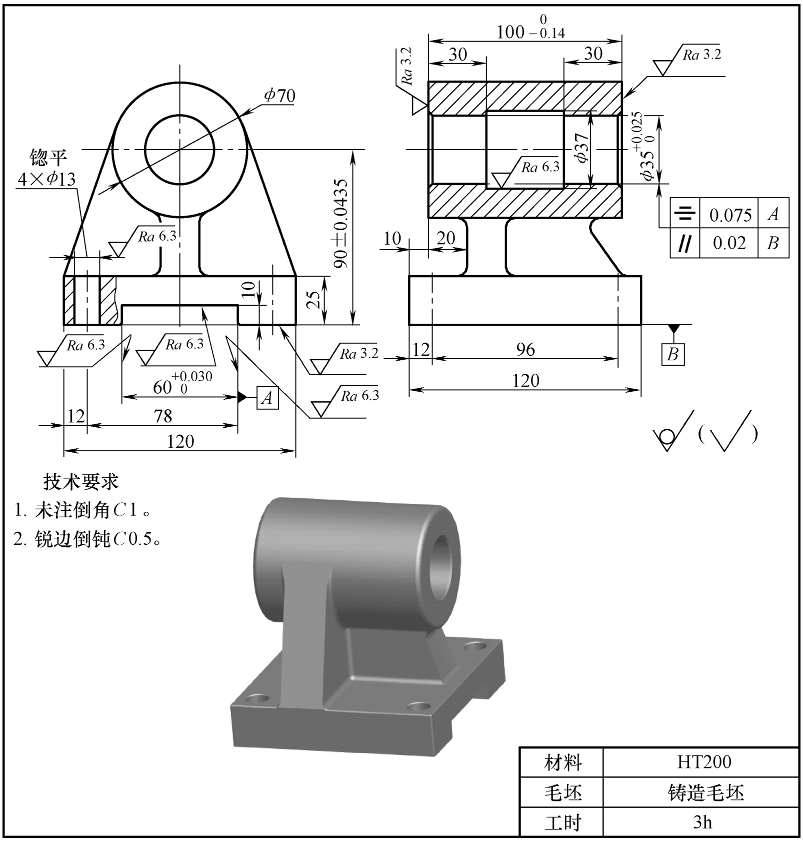
3.5.3　主要部位的检验

因薄壁套的整个切削过程均在一次装夹下完成，从而用工艺手段保证了同轴度和平行度，故该两项可免检。

$\phi60_{-0.030}^{\ 0}$mm 的圆度检验可穿插在外圆尺寸检验中进行，被测圆柱面任一正截面的圆周尺寸之差即为该薄壁套的圆度误差。

3.6　轴承座的车削加工

轴承座如图 3-67 所示。



材料	HT200
毛坯	铸造毛坯
工时	3h

图 3-67　轴承座

3.6.1 主要技术要求与工艺分析

1. 主要技术要求

该轴承座有 2 处几何公差要求和孔的精度要求，如图 3-67 所示。

2. 工艺分析

1）工件的底平面、底平面槽以及 $4\times\phi13$mm 内孔均在前面工序加工好。

2）此轴承座形状较复杂，如进行批量生产，用常规的单动卡盘装夹与找正，会给加工带来极大的不便，产品质量得不到保证，且效率很低。采用花盘、角铁等装夹加工，可解决这一问题。

3）孔的轴线相对于底平面的平行度误差和底平面至内孔 $\phi35^{+0.025}_{0}$mm 中心距尺寸（90 ± 0.0435）mm，可采用调整花盘、角铁的位置来保证。用花盘、角铁装夹轴承座如图 3-68 所示。

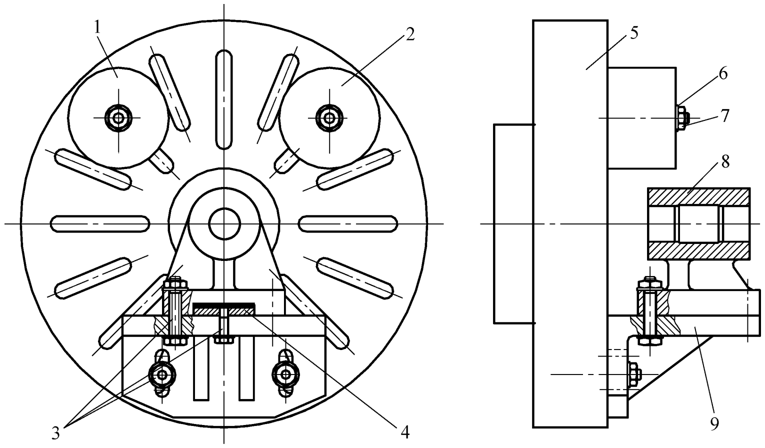


图 3-68 用花盘、角铁装夹轴承座

1、2—平衡块 3—螺栓 4—定位键 5—花盘 6—垫圈 7—螺母 8—轴承座 9—角铁

4）轴承座内孔 $\phi35^{+0.025}_{0}$mm 轴线相对基准 A 的对称度误差要求为 0.075mm，要通过使用标准工艺块的工艺方法才能保证。在该批零件加工之前，加工出形状类似工件的标准工艺块作为找正基准（图 3-69），通过对标准工艺块的找正，使轴承座的中心距和对称度达到图样技术要求。

5）花盘、角铁装夹强度较低，且工件、夹具偏重，因此，主轴转速不宜过高；切削用量应相对降低；操作时，特别要注意安全。

确定标准工艺块尺寸精度时，槽宽和孔的中心距几何公差都分别取所对应的公差值的 1/5~1/3，通过座标镗床找正槽后镗出孔。

6）轴承座的底面槽是轴承座的定位基准，在角铁上安装一个定位键（图 3-70）即可满足轴承座定位的要求。该定位键可淬火后用磨床磨出。

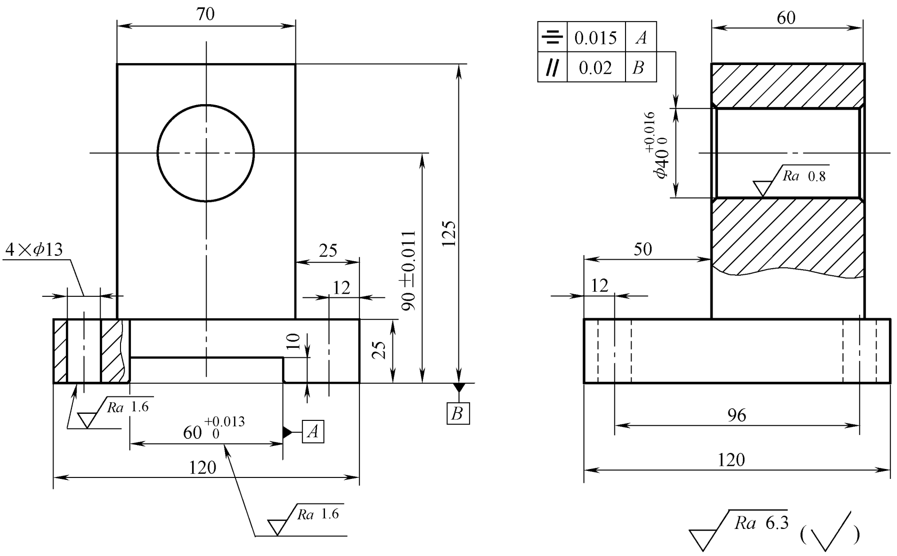


图 3-69　用作找正基准的标准工艺块

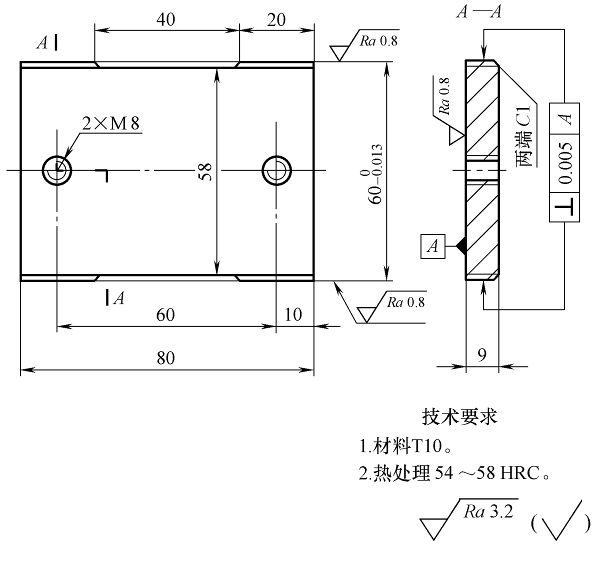


图 3-70　定位键

定位误差分析：

1）对称度定位误差。当标准工艺块对称度找正误差（通过找正孔，下文同）控制在 0. 01mm 之内时：

$$\Delta_{定}=\Delta_{夹}+\Delta_{工}+\Delta_{找}=0.026\text{mm}+0.03\text{mm}+0.01\text{mm}=0.066\text{mm}$$

式中　$\Delta_{定}$——对称度定位误差；

$\Delta_{夹}$——标准工艺块槽宽与定位键制造误差和；

$\Delta_{工}$——轴承座底面槽宽制造误差；

$\Delta_{找}$——找正误差。

2）中心距定位误差。当标准工艺块中心距找正误差控制在±0.005mm之内时：

$$\Delta_{定}=\Delta_{夹}+\Delta_{找}=0.011\text{mm}+0.01\text{mm}=0.021\text{mm}$$

式中 $\Delta_{定}$——中心距的定位误差；

$\Delta_{夹}$——标准工艺块的中心距制造误差；

$\Delta_{找}$——找正误差。

结论：在未考虑花盘、角铁等其他误差的情况下，此装夹方法基本上是可行的。

3.6.2 参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

1）安装、调整定位键，如图3-71图示。

2）安装花盘、角铁，并检验其精度，如图3-72、图3-73所示。

技能大师经验谈：

安装花盘、角铁前要将有关接合面擦拭干净；安装后应分别按图3-72、图3-73所示方法检测花盘、角铁的轴向圆跳动误差与平行度误差。

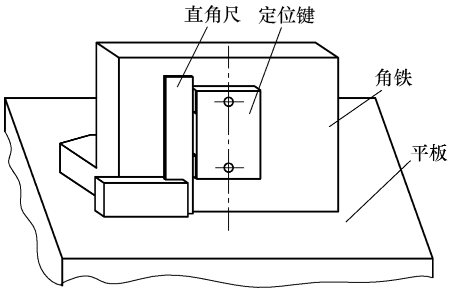


图3-71 用直角尺检查、找正定位键

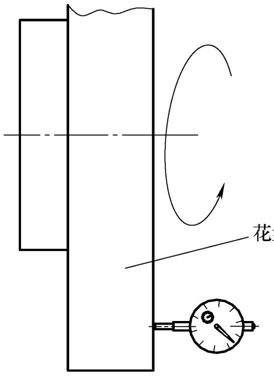


图3-72 检测花盘的轴向圆跳动误差

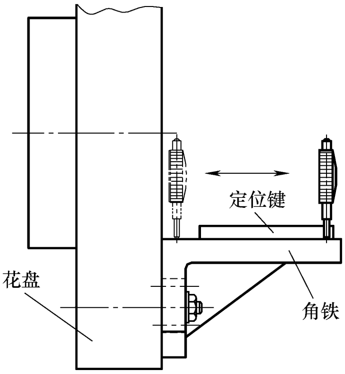


图3-73 检测角铁与轴线的平行度误差

按本例轴承座的精度要求，如果花盘平面（接近最大直径处）跳动误差大于0.03mm、角铁工作面（在全长上）平行度误差大于0.02mm，则均应检修。

3）将微锥检验棒（图3-74）装入标准工艺块内，并用纯铜棒轻击敲紧，如图3-75所示。

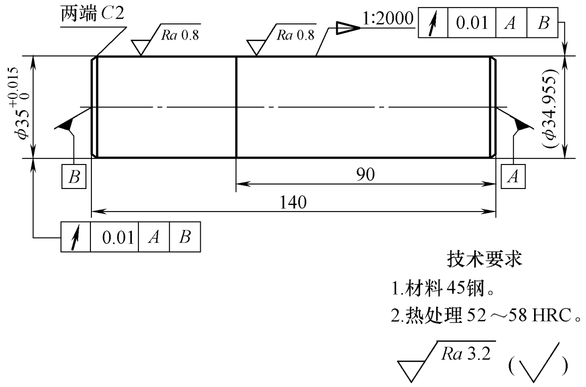


图3-74　微锥检验棒

4）安装平衡块；在角铁上安装、找正微锥检验棒，如图3-76所示。

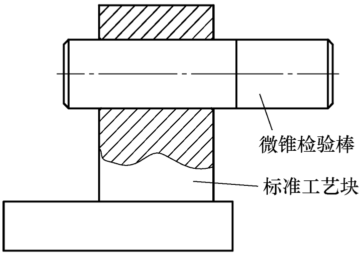


图3-75　安装微锥检验棒与标准工艺块

技能大师经验谈：

在使用花盘、角铁车削偏重工件时，平衡块安装不当不仅直接影响工件加工面的精度，还对安全生产和车床精度造成隐患，决不能忽视。

检验平衡块是否调整好，最简单易行的方法是：将主轴转速调在空档，用手扳动卡盘转动，卡盘能在任意角度停止转动，即表示工件的静平衡已经调整好。

5）安装工件，精调平衡块。

6）车端面；粗、精车内孔；倒角。内孔可用机械或数显内径百分表测量。图3-77所示为数显内径百分表，它具有数据显示清晰、准确及使用方便等特点。

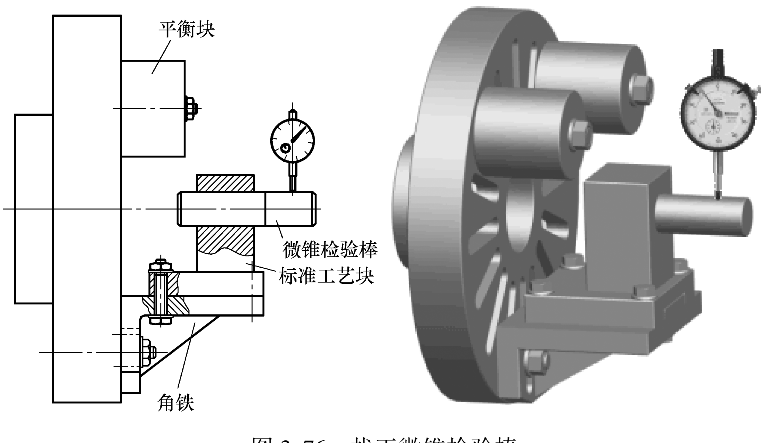


图3-76　找正微锥检验棒

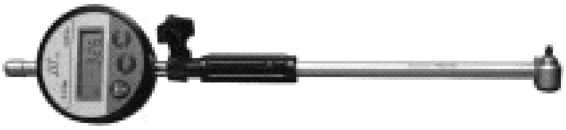


图 3-77　数显内径百分表

7）调头，车端面；定总长；倒角。

3.6.3　主要部位的检验

1. 轴承座孔与底平面中心距的检验

采用量块比较法，如图 3-78 所示。在平板上平移百分表，用百分表测得微锥检验棒最高值后调零，与大致同于此高度的量块组进行比较。

中心距实际尺寸=量块组高度+百分表读数-微锥检验棒外圆实际尺寸的一半

技能大师经验谈：

此轴承座的装夹方法比较复杂，有很多造成工件超差的因素，因此，加强对首件产品的各项检验工作是非常重要的。此外，为慎重起见，在试车第一件时，可将轴承座孔的直径车小 1mm，经调整检验合格后再车至尺寸。

轴承座孔距底平面的中心距的检验是该工件完工后的一项重要检验内容，特别是对首件的加工、检验，应将中心距尺寸调整控制在公差值的中性位置。

2. 孔的轴线相对轴承座底平面的平行度的检验

如图 3-79 所示，移动百分表在 A 点取得最高值，调零后，移动百分表在 B 点取得最高值，比较两值，再将 AB 长度代入。

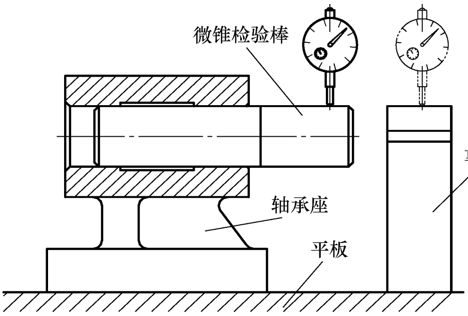


图 3-78　轴承座孔与底平面中心距的检验

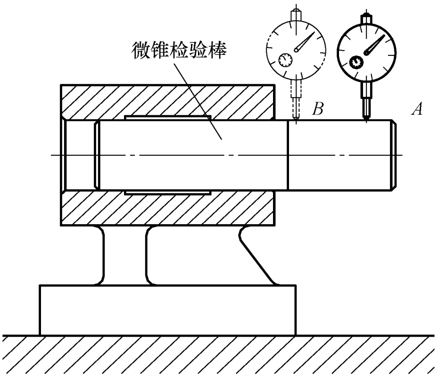


图 3-79　轴承座孔与底平面平行度的检验

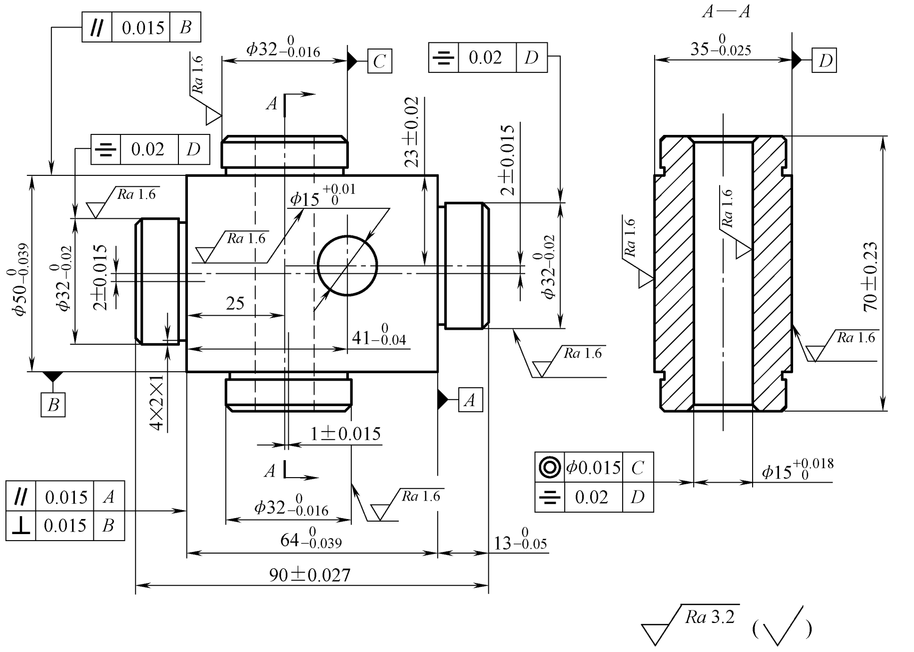
平行度误差 = 孔长 L/AB 长度×(A 点测值-B 点测值)

3. 孔相对于底面槽的对称度检验

该项检验难度较大，如需要检验，可将标准工艺块装上角铁，重复找正一次即可得出此时的对称度误差。

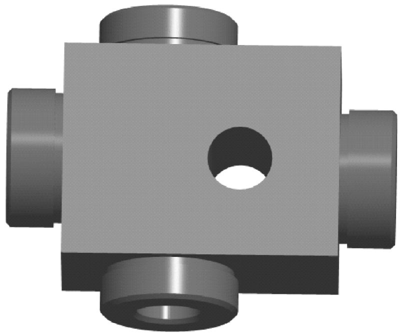
3.7　滑座的车削加工

滑座如图 3-80 所示。



技术要求

1. 未注倒角C1；未注公差按IT14加工。
2. 整件只许用单动卡盘加工；不准使用铰刀、浮动镗刀等定径刀具加工内孔。
3. 不准使用锉刀、砂布、磨石抛光加工表面。



材料	45
毛坯	$\phi 85\times 95$
工时	7h

图 3-80　滑座

3.7.1 主要技术要求与工艺分析

1. 主要技术要求

尺寸精度共 17 处，$\phi15^{+0.018}_{0}$mm×(70±0.23)mm 孔车削难度较大；位置公差共 7 处。

2. 工艺分析

工件备料为 ϕ85mm×95mm 的 45 钢圆棒料，要用车削的方法完成全部加工并达图示各项要求。该零件是典型的畸形、难加工件，在整个加工过程中，操作者必须具备较高的工艺分析水平，拟订正确、合理的加工方法，还需有较高的操作技术和处理问题的能力。

1）因其形状较复杂，拟订正确的加工方法和工序、工步是完成加工的关键。

2）随时用笔做好标记，防止偏心距车错方向。

3）工件夹持部位与车削部位不同轴处，采用百分表加量块组来找对称，$\phi15^{+0.01}_{0}$mm 孔位置采用划线、按线找正、实测纠正的方法加工。

4）$\phi15^{+0.018}_{0}$mm×(70±0.23)mm 孔可参考本章例 1“十字检具”孔的加工方法。

5）工件夹持刚性较差，车刀应采用较大的前角等降低切削抗力的措施，防止工件在切削中偏移，影响加工精度。粗车用 45°弯头刀及 90°偏刀如图 3-81 所示。刀具切削材料选用 YT5 较好。

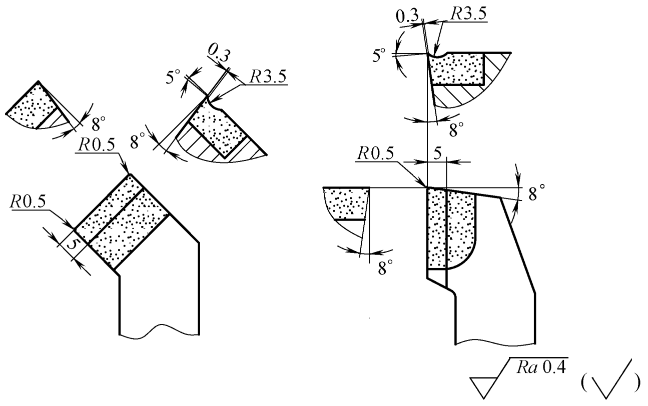


图 3-81 粗车用 45°弯头刀及 90°偏刀

3.7.2 参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

粗、精车外圆工艺基准→车两大平面→车右端平面→车主视图下端 ϕ32mm 圆

→车 C 基准 ϕ32mm 圆及 ϕ15mm 内孔→车主视图左端 ϕ32mm 圆→车主视图右端 ϕ32mm 圆→划平面 ϕ15mm 孔线→车 ϕ15mm 内孔→检验。

1）核算工件材料尺寸，车工艺基准。计算工件最大外圆直径和长度，检查所备材料是否符合要求。

外圆尺寸计算：由图 3-80 左视图可知 $a = 35$mm，$b = 70$mm，求对角边 c。

由勾股定理 $c^2=a^2+b^2$，得对角边 $c=\sqrt{a^2+b^2}=\sqrt{35^2+70^2}mm=78.3$mm

备料尺寸为 ϕ85mm×95mm。

夹外圆 15mm 长，将工件端面及外圆车平、车圆后，再精车外圆工艺基准。

2）车削第一大平面时工件的装夹、找正，如图 3-82 所示。

3）车削另一大平面。装夹方法同上，找正方法如图 3-83 所示。

技能大师经验谈：

找正时，把杠杆百分表的测头伸进卡盘卡爪内，找正内平面的四个角，如图 3-83 所示。车削时，用千分尺测量零件厚度，控制尺寸 $\phi35_{-0.025}^{\ 0}$mm 的同时，应注意检查两大平面的平行度，其平行度误差应控制在厚度尺寸公差 0.025mm 之内；在精车大平面时，应采用低速，其精车车刀应选择较宽的修光刃，这样可车出较高质量、表面粗糙度值低的平面，目的是为下道工序的找正制造两个精度较高的工艺基准平面。

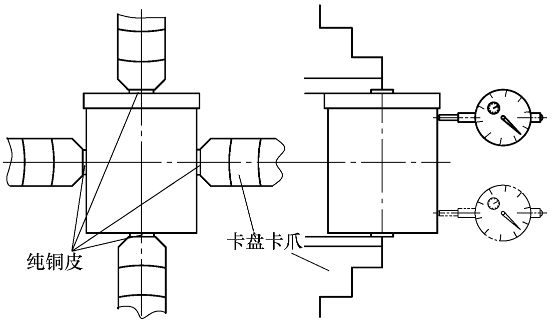


图 3-82　车大平面的找正

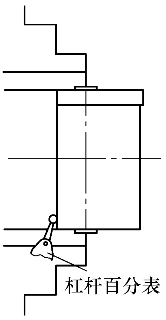


图 3-83　车另一大平面的找正

4）车削右端平面。如图 3-84 所示装夹、找正。车削右端平面至总长尺寸。

技能大师经验谈：

车平面时，用千分尺检测四个角的尺寸，在正常情况下，两端面是平行的，否则要检查工件是否松动。

5）车主视图下端 $\phi32_{-0.016}^{\ 0}$mm 外圆。找正方法一：非对称面可垫 12mm 量块组，通过量块组来找对称，如图 3-85 所示。找正方法参照前文所述。找正方法二：用 30mm 或 50mm 大量程百分表找正，既直观，操作又方便，如图 3-86 所示。

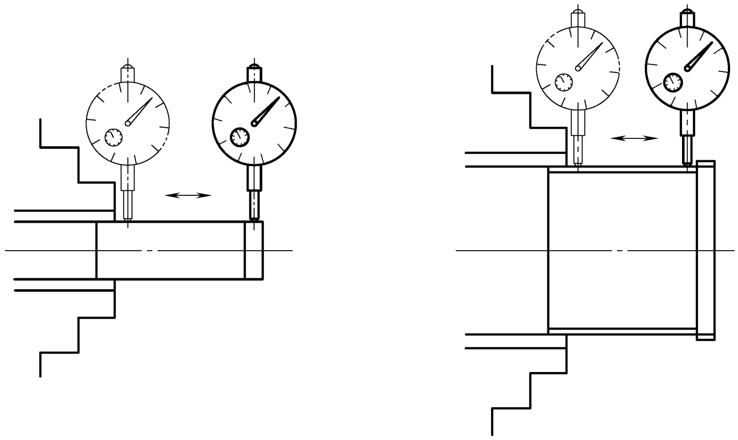


图 3-84　车削右端平面装夹、找正

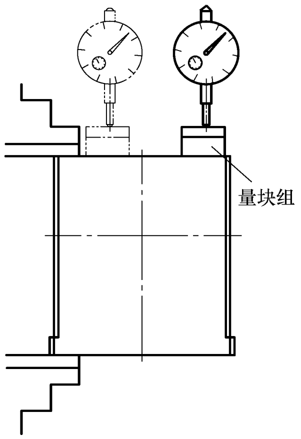


图 3-85　$\phi32_{-0.016}^{\ 0}$基准圆的找正

a)　　b)

图 3-86　大量程百分表

a）大量程机械百分表　b）大量程数显百分表

技能大师经验谈：

使用量块组前，一定要用航空汽油将量块洗净后，用绸布反复擦干，用手推合，使量块之间达到了黏合程度。另外，还应注意：组合量块时，应将量块本身误差值代入；量块组块数尽可能少；最薄的量块应组合在量块组中间等，否则会造成较大的测量误差。

因粗车时有冲击负载，因此，在精车外圆前，一定要再将工件检查找正一次，没有发现位移时，再精车。

用大量程百分表找正时，百分表表测头接触工件，特别是接触测头压缩值大的

测量面时，应采用保护措施，即将百分表的测头用手提起，工件转到测量面后再轻轻放下，防止直接移动中滑板时损坏百分表的测头或使百分表本体移动。

6）车削 C 基准 $\phi32_{-0.016}^{\ 0}$mm 外圆及 $\phi15_{\ 0}^{+0.018}$mm 孔。用上法装夹、找正。量块组厚度此时应垫 14mm。C 基准外圆与孔在一次装夹下车出，内孔车削参阅前文。

7）车削主视图左端 $\phi32_{-0.02}^{\ 0}$mm 外圆。因为此端面已加工成工艺基准，找正时可选取端面及两大平面为基准。选用 4mm 量块找对称。也可直接用量程为 10mm 的百分表。装夹、找正如图 3-87 所示。

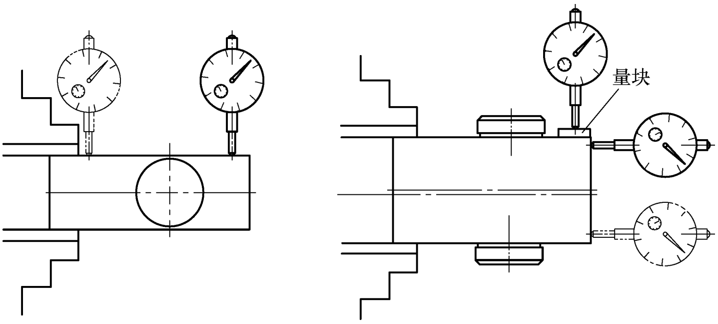


图 3-87　车削左端外圆时装夹、找正

8）车削主视图右端 $\phi32_{-0.02}^{\ 0}$mm 外圆及基准平面 A。应特别注意 $\phi32_{-0.02}^{\ 0}$mm 外圆中心线的偏移方向。在控制 $64_{-0.039}^{\ 0}$mm 尺寸的同时，要注意检查两侧面四个角的平行度。

9）划 $\phi15_{\ 0}^{+0.01}$mm 圆孔线。此圆尽可能划大些，作用是减小找正误差和便于观察。

10）车削 $\phi15_{\ 0}^{+0.01}$mm 孔。先用划针盘按线找正孔，用百分表找正平面。装夹、找正如图 3-88 所示。以水平两个卡爪为主要夹紧卡爪，另两个卡爪为辅助夹紧卡爪。

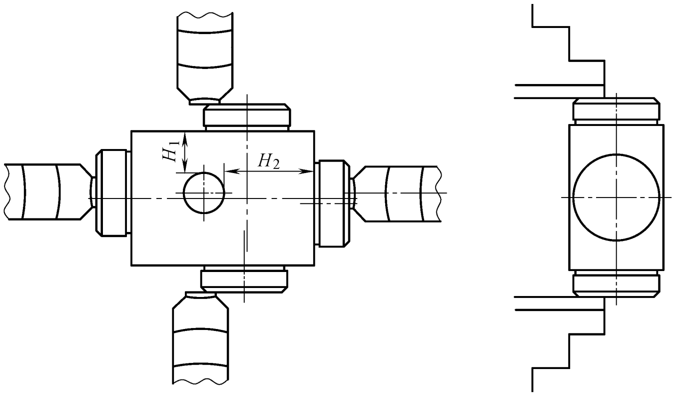


图 3-88　$\phi15_{\ 0}^{+0.01}$mm 孔的装夹、找正

技能大师经验谈：

钻该孔时，孔钻成 ϕ13mm，使其有调整余地。

该孔的中心分别处于距两侧面 $41_{-0.04}^{0}$mm、(23±0.02)mm 的位置。测量控制孔的中心距可采用间接测量调整法，即用游标卡尺分别测出 H_1 和 H_2 两尺寸，孔的中心距测值的计算见下式：

$$H=a-c=L=a-b$$

式中 H——中心距尺寸应控值（mm）；

L——当前孔位置的测量值（mm）；

a——标准中心距尺寸（mm）；

b——当前孔实际半径（mm）；

c——标准尺寸孔半径尺寸（mm）。

如尺寸未达到要求，则可通过百分表将位置调准。

应当指出，此项测量难度较大，要求操作者具有较熟练的测量基本功，使用精度较高的游标卡尺，才能达到测量要求。

3.7.3 主要部位的检验

1. 偏心距的检验

ϕ32mm 外圆相对 50mm×64mm 方的偏心距检验，可采用图 3-89 所示方法，将滑块放在测量垫上用百分表测出 a 值，调转 180°测出 b 值，a、b 之差的一半即为实际偏心距。

2. 对称度的检验

对称度的检验如图 3-90 所示，在平板上用百分表在 ϕ32mm 外圆上找出最大值后调零，调换另一面测量，两值之差即为对称度误差。

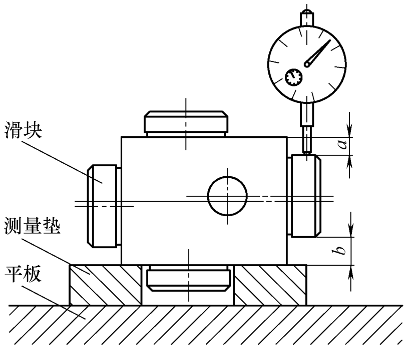


图 3-89 偏心距的检验

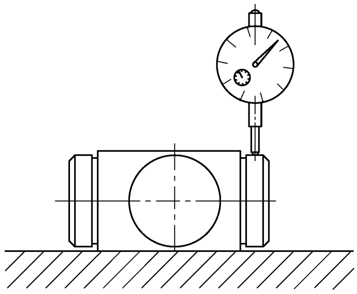


图 3-90 对称度的检验

3. 孔距的检验

ϕ15mm 孔距的检验如图 3-91 所示，将 ϕ15mm 孔装上微锥心轴（微锥心轴锥度可取 1∶2000），轻轻敲紧，置于测量垫上，用百分表测出滑座四个方向的差值即可计算出孔距。

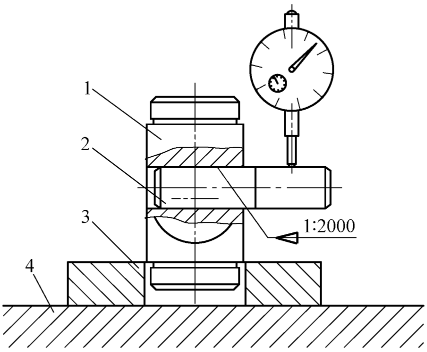


图 3-91　$\phi15$mm 孔距的测量

1—滑块　2—微锥心轴　3—测量垫　4—平板

3.8　十字孔四方体的车削加工

十字孔如图 3-92 所示。

3.8.1　主要技术要求与工艺分析

该零件毛坯为 45 钢，其几何公差有 7 处，主要尺寸精度有 9 处，$\phi36^{+0.039}_{0}$mm 和 $\phi30^{+0.033}_{0}$mm 内孔表面粗糙度 Ra 值为 1.6μm。$\phi30^{+0.033}_{0}$mm 偏心孔相对 $\phi36^{+0.039}_{0}$mm 孔轴线的偏心距为（3±0.024）mm。

工艺分析：

1）十字孔四方体外形尺寸精度要求较高，还有较多的几何公差要求，必须认真对其进行工艺分析，制订出切实可行的措施，方能保证工件的质量和加工效率。

2）由于十字孔四方体 $\phi36^{+0.039}_{0}$mm 孔的轴线相对基准 C、G 两处（56±0.023）mm 中心线的对称度误差不大于 0.02mm，所以在加工四方体各面时必须严格控制对边尺寸精度和位置精度，以便能更好地控制对称度公差。

3）在加工孔边距和偏心孔中心距时，应采用找正划线、百分表找正和测中心距等方法来保证。

4）四方体外形相对较薄，在装夹时，应注意夹紧力的着力点，要做到既能有效地夹紧工件，又不至于使工件变形和夹伤；工件被夹部分应垫纯铜皮，并用纯铜棒敲正。

3.8.2　参考加工方法与工序设计

加工步骤如下：

夹持 $\phi85$mm 外圆→粗、精车端面，外圆车至 $\phi80$mm→调头，粗、精车另一端外圆及端面，定总长→粗、精车四方体平面 1→粗、精车平面 1 对面的另一个平面 2→粗、精车平面 1 相邻的平面 3→粗、精车最后一个平面 4→划线→找偏心，在平

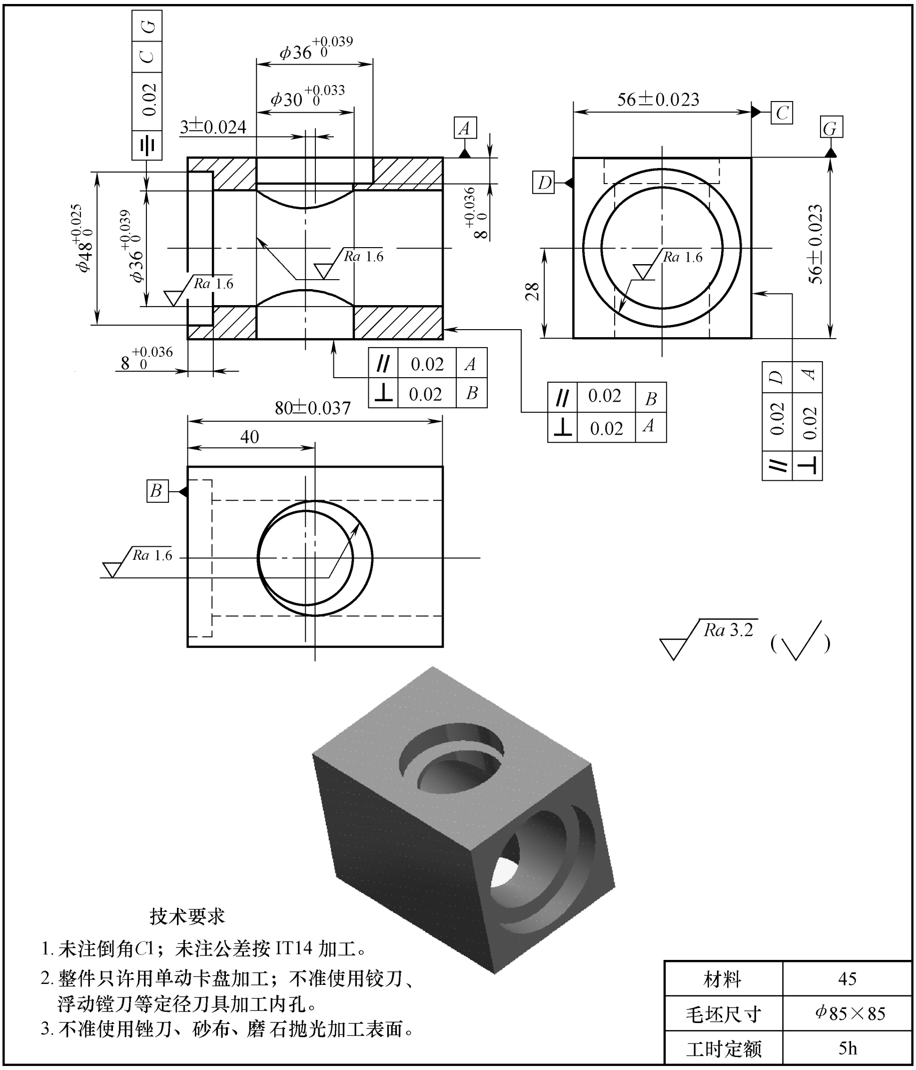


图 3-92　十字孔四方体

面 4 上钻 $\phi29$mm 孔→粗、精车 $\phi30^{+0.033}_{0}$mm 偏心孔→粗、精车 $\phi36^{+0.039}_{0}$mm 阶台孔→粗、精车 $\phi36^{+0.039}_{0}$mm 和 $\phi48^{+0.025}_{0}$mm 孔→去毛刺→检验。

1）检查所备材料是否符合要求，计算工件最大外圆直径。

① 四方体外圆尺寸的计算。由图 3-93 可知，在 $\triangle abc$ 中，$\overline{bc}=56$mm，$\overline{ac}=56$mm，求对角尺寸 $\overline{ab}$。

由勾股定理得 $\overline{ab}=\sqrt{ac^2+bc^2}=\sqrt{56^2+56^2}$ mm ≈79.2mm。

四方体外圆直径为 $\phi79.2$mm。因此，为便于测量、计算，外圆尺寸最好车到 $\phi80$mm。

② 该工件车削全程采用单动卡盘装夹。

③ 外圆夹 10mm 长，将外圆直径车至 ϕ80 mm。

2）调头，找正已车端面，粗、精车另一端面，将先夹持的外圆也车至 ϕ80mm，定总长，控制（80±0. 037)mm 尺寸，如图 3-94 所示。

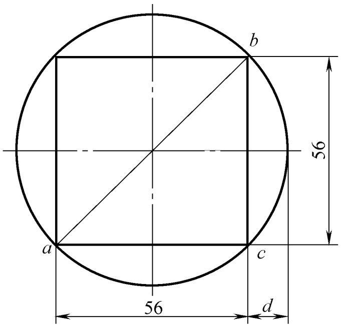


图 3-93　四方外圆尺寸及去除量的计算

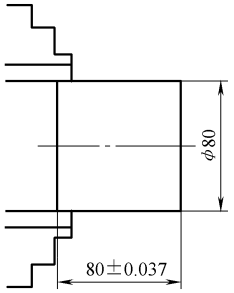


图 3-94　粗、精车另一端面，定总长

3）夹持工件，垫纯铜皮，找正，如图 3-95 所示。车削第一个平面，计算外圆的去除量 d。

$$d=\frac{\overline{ab}-\overline{ac}}{2}=\frac{79.2-56}{2}\text{mm}=11.6\text{mm}$$

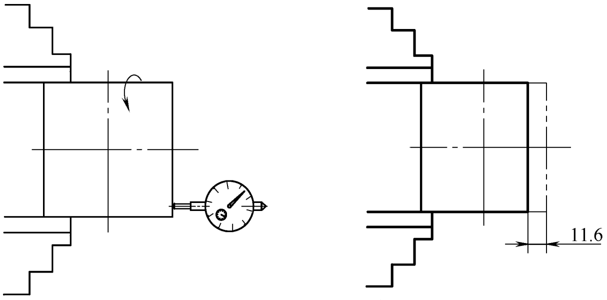


图 3-95　找正工件，车第一个平面

4）按照步骤 3)，用相同的方法，车削第二个平面。车削时可采用外径千分尺测量，保证尺寸（56±0. 023)mm，保证两个平面的平行度，如图 3-96 所示。

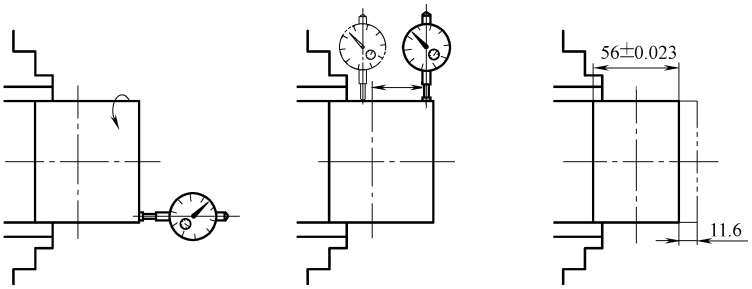


图 3-96　车削第二个平面

5）按照步骤 3）、4），用相同的方法粗、精车削第三个和第四个平面，保证尺寸精度（56±0.023）mm，保证各面的位置精度。

6）划线。划出各孔的位置线。

7）用垫量块的方法找正（3±0.02）mm 偏心距，钻及粗、精车 $\phi30^{+0.033}_{0}$ mm 偏心孔，倒角，如图 3-97 所示。

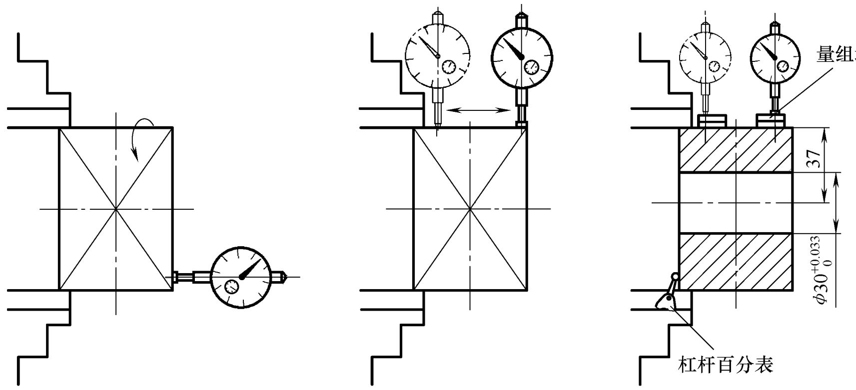


图 3-97　找正，钻及粗、精车 $\phi30^{+0.033}_{0}$ mm 偏心孔

8）装夹、找正、车削 $\phi36^{+0.039}_{0}$ mm 阶台孔。找正时以四方体的四面为基准，找对称即可，如图 3-98 所示。

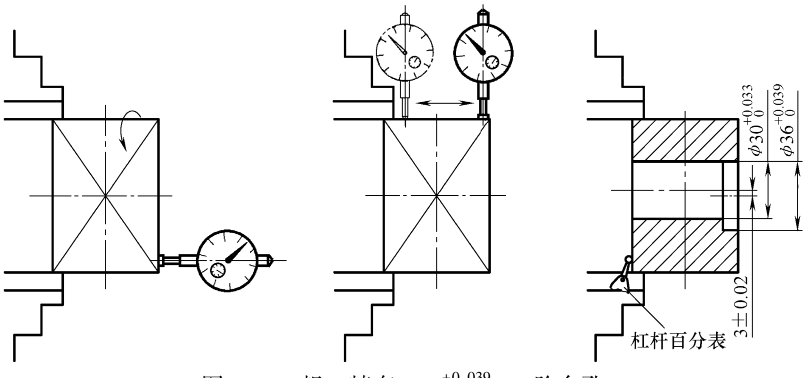


图 3-98　粗、精车 $\phi36^{+0.039}_{0}$ mm 阶台孔

9）找正，钻 $\phi35$ mm 孔，粗、精车 $\phi36^{+0.039}_{0}$ mm 和 $\phi48^{+0.025}_{0}$ mm 孔，如图 3-99 所示。

10）去毛刺，检验。

3.8.3　主要部位的检验

1. 平行度的检验

十字孔四方体工件有 3 处平行度误差要求不大于 0.02mm。检验时可用外径千

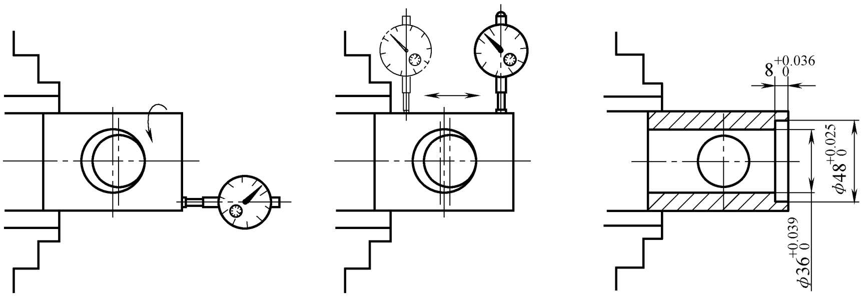


图 3-99　粗、精车 $\phi36^{+0.039}_{0}$mm 和 $\phi48^{+0.025}_{0}$mm 孔

分尺测量其四个角的尺寸差；还可采用百分表在平板上移动来比较两测量平行面的测量值是否相等，其测量值差即为平行度误差。

2. 垂直度的检验

垂直度要求共有 3 处，可在平板上用塞尺测量直角尺与工件间的间隙，该间隙最大读数值即为被测表面相对基准的垂直度误差，如图 3-100 所示。

3. 对称度的检验

对称度误差可以用壁厚千分尺检测。测量一组对边的壁厚尺寸所得到的壁厚差值就是该孔相对本组对边的对称度误差。

4. 偏心距的检验

1）采用百分表测量法，如图 3-101 所示。在平板上平移百分表，将百分表测得微锥检验棒最高值调零。

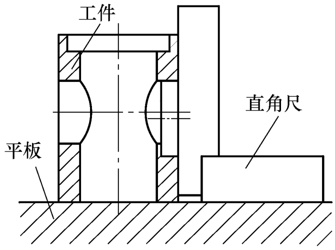


图 3-100　基准 *A* 面相对于上平面垂直度的检验

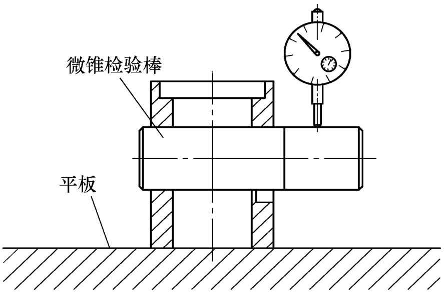
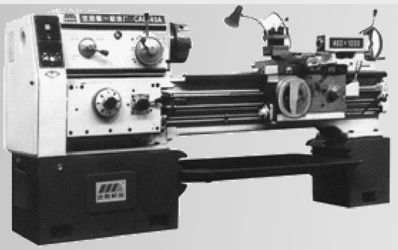


图 3-101　偏心距的检验

2）将工件调头，用相同的方法测量，测出的两组数据差值的一半，就是偏心孔的实际偏心距。



第 4 章

组合件的车削加工

4.1　组合件加工特点与技巧

组合件是由多个零件装配组合而成的。即使是加工方法一致，尺寸精度、几何公差均符合图样要求的参与组合的单个零件，没按有关规律“放量”；组合前，又未对配合面进行修配，一次组装就符合图样的组合技术要求是比较困难的，装配精度和参与组合的各零件的精度关系密切。因此，在组合件加工中，除单个零件尺寸精度、几何公差等要符合图样技术要求外，还应该达到组合精度要求。基于组合件的这一特点，在加工组合件时，除应对零件进行工艺分析外，还应对各配合面进行分析，全面考虑加工中影响组合精度的各种因素，并采取相应措施，否则，很难达到图样的组合技术要求。

在多件零件组合的组合件中，用以作为其他零件组合基准的零件称为装配基准。装配基准可以是一个完整的零件，也可以是零件的一部分。针对车削加工而言，因外圆尺寸精度比较容易控制，装配基准选择外圆类的较多，如外圆直径、外螺纹、外圆锥等。在加工组合件时，可利用加工好的装配基准作为量规或塞规，用来检验与之组合的相关件，这样，不但能使组合件得到较高的配合精度，满足零件组合要求，同时，也便于控制内圆锥、内螺纹等较难测量部分的尺寸。

在对组合件进行工艺分析后，正确选择装配基准，合理拟定装配基准加工方法和工序是至关重要的。

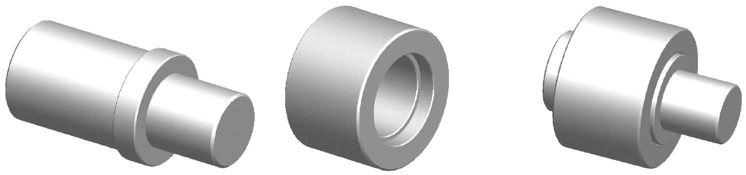
1. 内、外圆配合

在内、外圆及台阶尺寸配合的组合件中，影响零件配合精度的内、外圆以及台阶尺寸应将尺寸控制为最大极限尺寸和最小极限尺寸的中间值，如图 4-1 所示。

2. 圆锥配合

1）车削内、外圆锥配合的组合件时，应选择外圆锥为装配基准并先车削出来，如图 4-2 所示。

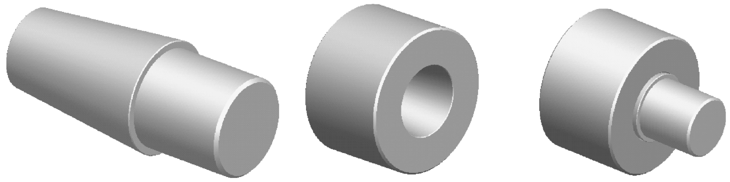
2）当图样上标注了圆锥角公差时，应按圆锥角公差调整机床，并记录好调整值。例如：采用百分表找正小滑板搬角度的方法车圆锥时，应将装配基准角度的找



a)　　b)　　c)

图 4-1　内、外圆及其配合

a）外圆　b）内圆　c）内、外圆配合



a)　　b)　　c)

图 4-2　内、外圆锥及其配合

a）外圆锥　b）内圆锥　c）内、外圆锥配合

正误差记录好，为调整相应件圆锥角提供找正数据，这样才能使车出的内、外圆锥角度相同。图样要求的圆锥组合接触面积要求越大，内、外圆锥的找正误差值越应相同；如图样上未标注圆锥角公差的圆锥组合，则应按“角度尺寸的极限偏差数值”选择公差值，见表 4-1。

3）精车装配基准圆锥面时，精车车刀应保持锋利，进给均匀，使车出的圆锥面表面粗糙度值小；车刀刀尖应严格对准工件旋转中心，防止圆锥素线形成双曲线误差而影响内、外圆锥面的接触面积。

表 4-1　角度尺寸的极限偏差数值　（单位：mm）

公差等级	长度分段				
	~10	>10~50	>50~120	>120~400	>400
精密 f	±1°	±30′	±20′	±10′	±5′
中等 m					
粗糙 c	±1°30′	±1°	±30′	±15′	±10′
最粗 v	±3°	±2°	±1°	±30′	±20′

3. 偏心配合

1）偏心配合的组合件（图 4-3），应选择偏心轴作为装配基准并先加工。

2）偏心工件的偏心距找正难度相对较大，在找正装配基准时，只需将偏心

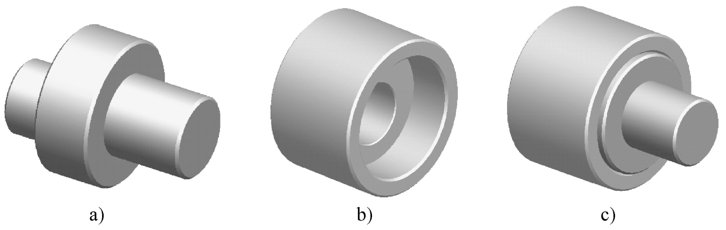


图 4-3　偏心件及其配合

a）偏心轴　b）偏心套　c）偏心配合

距找正误差控制在图样的偏心距公差范围内，被组合件偏心距也找正到同值即可。

3）精车偏心件的偏心部分时，为保证能顺利组装，参与配合的外、内圆尺寸应分别靠近最小和最大极限尺寸。装配基准与配合件找正的误差值相差越大，就越应取最小极限的外圆尺寸和最大极限的内圆尺寸。

4）找正偏心距时，偏心部分轴线一定要与零件轴线平行，这一点是决不能忽视的。

4. 螺纹配合

1）螺纹配合的组合件（图 4-4）应将螺杆作为装配基准，先加工。

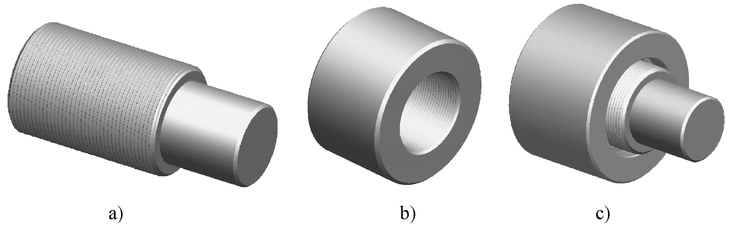


图 4-4　螺纹及其配合

a）外螺纹　b）内螺纹　c）螺纹配合

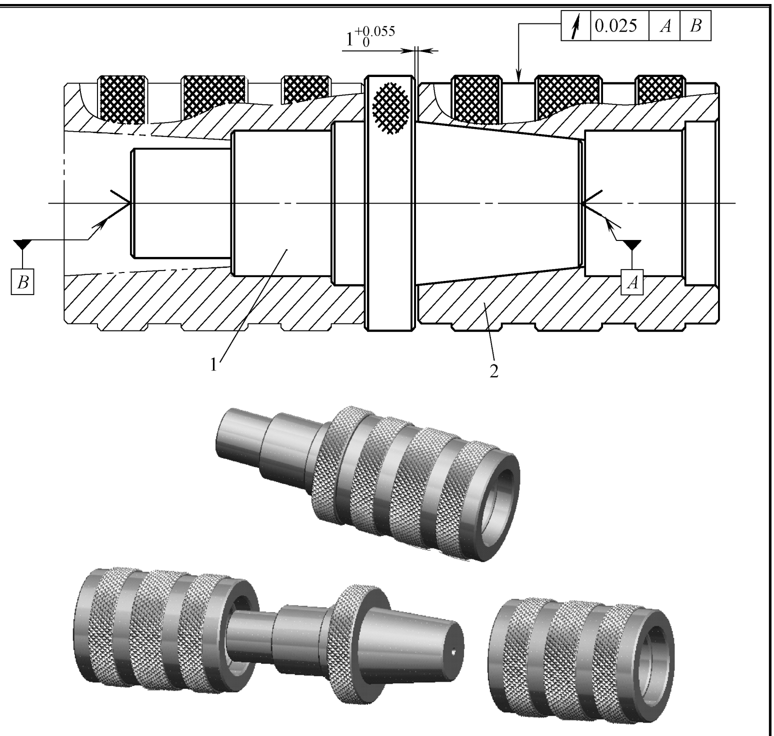
2）在加工螺杆和螺母时，为保证能顺利组合，外、内螺纹的中径、大径、小径均应分别靠近或等于最小和最大极限尺寸，特别是在具有偏心、圆锥等多件组合的组合件的螺纹组合、较特殊的齿形、多线螺纹组合中，更应该如此。

3）装配基准螺纹应直接车出，而不得使用丝锥、板牙等螺纹刀具加工，以保证装配基准螺纹的轴线与其他部位轴线的同轴度。

4）螺纹装配基准精车时，力求牙型角准确，不得有倒牙、牙型角误差大、表面粗糙度值过高等缺陷，否则将会造成组合困难、尺寸精度超差。

4.2　轴套两件组合的车削加工

轴套两件组合如图 4-5~图 4-7 所示。



技术要求
1. 件1与件2锥面配合接触面大于70%。
2. 未注公差按IT14加工。
3. 不许使用锉刀、砂布等辅具锉、抛加工表面。

序号	名称	数量	材料	毛坯尺寸
2	套	1	45	ϕ75×240 一根
1	锥度台阶轴	1	45	
工时定额			4h/套	

图 4-5　轴套两件组合

1. 技术要求与工艺分析

（1）主要技术要求　轴外圆台阶有 4 处配合尺寸；圆锥配合面有 1 处配合尺寸；位置公差 2 处。套内孔与圆锥共 4 处配合尺寸；外圆 4 处是非配合尺寸。1∶5 圆锥配合接触面要求大于 70%；组合后间隙有精度要求；位置公差 1 处。

（2）工艺分析和中心孔、表面滚花的相关知识

1）该轴套组合件主要是圆锥面配合，70%接触面对于车削加工是具有一定难度的。采用百分表找正小滑板搬角度的方法车圆锥，将锥度台阶轴作为装配基准，

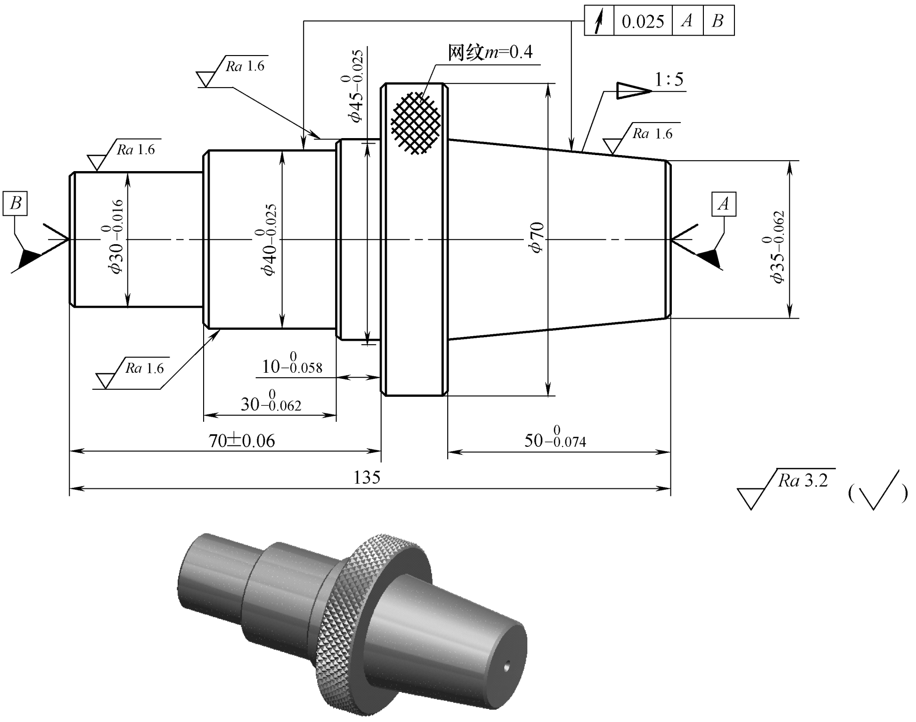


图 4-6　锥度台阶轴

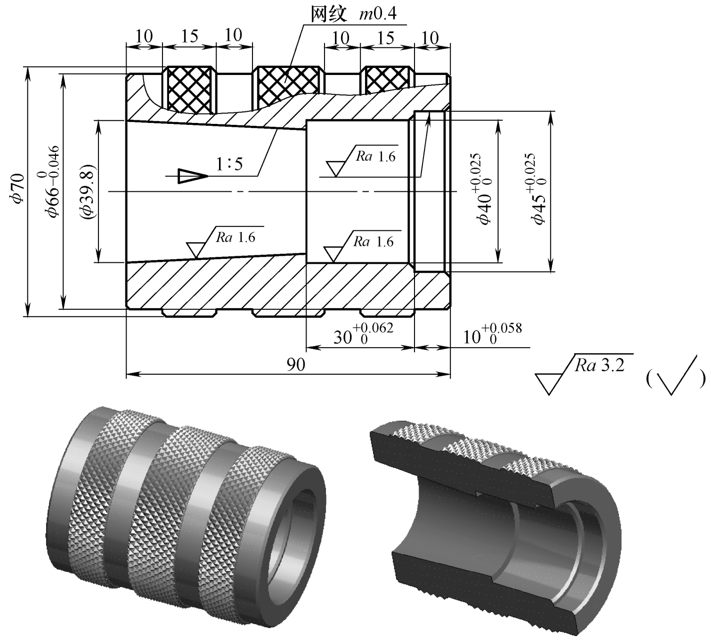
先车好锥度台阶轴的外圆锥，车套的内圆锥时，找锥度尽可能与找外圆锥的找正误差相同，可达到圆锥配合精度要求。

2）圆锥的尺寸公差就是锥度台阶轴的小端。测量的尺寸可通过标准圆棒配合外径千分尺测量的方法进行检验；套的锥度尺寸则是通过塞尺控制内、外圆锥大端端面的尺寸距离来实现的。

3）两个台阶的直径配合，其最大间隙为 0.05mm，最小间隙为 0，因 ϕ40mm、ϕ45mm 两台阶不管是轴还是孔，都是一次装夹车出的，没有位置误差，所以在车轴与套时，其尺寸公差应控制在两极限尺寸的中间值附近。这时它们之间的间隙就是 0.025mm，台阶配合长度也一样取中间值。

4）轴圆锥面外圆和 $\phi40_{-0.025}^{\ 0}$mm 台阶相对两端中心孔的跳动误差为 0.025mm，因此，这两尺寸应采用两顶尖的方法精车；两件组合后，套的外圆上槽底面相对轴两端中心孔的跳动误差也是 0.025mm，可采用一次装夹的方法精车出内圆锥面及外圆槽。

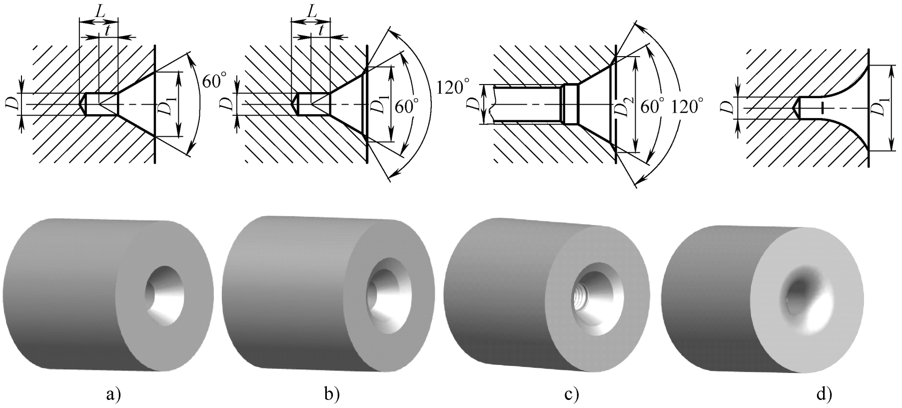
5）中心孔的相关知识。中心孔的精度对轴的加工质量起着极其重要的作用。在此例题中，中心孔作为工件的设计、定位和测量基准，正确选择中心孔的种类，提高其加工精度是非常必要的。中心孔的几种类型如图 4-8 所示。



技术要求

1. 未注倒角C1。
2. 锐边倒钝C0.5。

图 4-7　套



a)　　b)　　c)　　d)

图 4-8　中心孔的几种类型

a）A 型　b）B 型　c）C 型　d）R 型

GB/T 145—2001《中心孔》给出了 A、B、C、R 四种常用的 60°中心孔的结构形式及尺寸。尺寸 L 取决于中心钻的长度及零件的功能要求，但不能小于 t。

中心钻的标记示例：

A2. 5/6. 3：表示直径 d = 2. 5mm、柄部直径=6. 3mm 的直槽 A 型中心钻。

图4-8a所示为A型中心孔，不带护锥，零件加工完后一般可不保留。此中心孔是一般轴类工件用得较多的一种类型。

图4-8b所示为B型中心孔，带120°的护锥，零件完工后一般需保留的中心孔。它常用于较复杂和要反复使用中心孔的轴类工件。

图4-8c所示为C型中心孔，其螺纹常用于轴端固定，常用于较长的、需热处理悬挂的轴类工件。

图4-8d所示为R型中心孔，它的特点是用圆弧取代了60°圆锥面，顶尖顶持时与轴呈线接触，常用于刚度较差、长径比较大的轴，主要是为减小顶尖与中心孔的接触面，改面接触为线接触，降低了干涉力，从而减小过定位。

A、B、R、C型中心孔的结构尺寸见表4-2、表4-3。

表4-2　A、B、R型中心孔的结构尺寸　（单位：mm）

公称尺寸 D	形式				
	A		B		R
	公称尺寸 D_1	参考尺寸 T	公称尺寸 D_1	参考尺寸 T	公称尺寸 D_1
(0.50)	1.06	0.50			
(0.63)	1.32	0.60			
(0.80)	1.70	0.70			
1.00	2.12	0.90	3.15	0.90	2.12
(1.25)	2.65	1.10	4.00	1.10	2.65
1.60	3.35	1.40	5.00	1.40	3.35
2.00	4.25	1.80	6.30	1.80	4.25
2.50	5.30	2.20	8.00	2.20	5.3
3.15	6.70	2.80	10.00	2.80	6.7
4.00	8.50	3.50	12.50	3.50	8.5
(5.00)	10.60	4.40	16.00	4.40	10.6
6.30	13.20	5.50	18.00	5.50	13.2
(8.00)	17.00	7.00	22.40	7.00	17.0
10.00	21.20	8.70	28.00	8.70	21.2

注：尽量避免选用括号中的尺寸。

表4-3　C型中心孔的结构尺寸　（单位：mm）

公称尺寸 D	M3	M4	M5	M6	M8
公称尺寸 D_2	5.8	7.4	8.8	10.5	13.2
公称尺寸 D	M10	M12	M16	M20	M24
公称尺寸 D_2	16.3	19.8	25.3	31.3	38.0

6）轴与套共有四处需要用滚花刀滚网纹花。

图 4-7 中标注滚花网纹 $m=0.4$mm。此时网纹花的节距应是 $m\pi=1.257$mm。有关滚花刀资料请参考表 4-12（GB/T6403—2008）及图 4-9、图 4-10（假定工件的直径为无穷大时花纹的垂直截面图）。常用滚花刀的种类有三种，如图 4-11 所示。

滚花的标记：

模数 $m=0.3$mm 的直纹滚花：直纹　m0.3　GB/T 6403.3—2008

模数 $m=0.4$mm 的网纹滚花：网纹　m0.4　GB/T 6403.3—2008

表 4-4　滚花的尺寸规格　（单位：mm）

模数 m	h	r	节距 P
0.2	0.132	0.06	0.628
0.3	0.198	0.09	0.942
0.4	0.264	0.12	1.257
0.5	0.326	0.16	1.571

注：表中 $p=\pi m=3.14m$，$h=0.785m-0.414r$，滚花后工件直径大于滚花前直径，其值 $\Delta\approx(0.8\sim1.6)m$，$m$ 为模数。

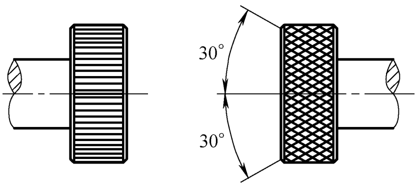


图 4-9　滚花的形式

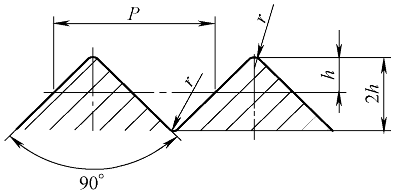


图 4-10　滚花花纹的形状

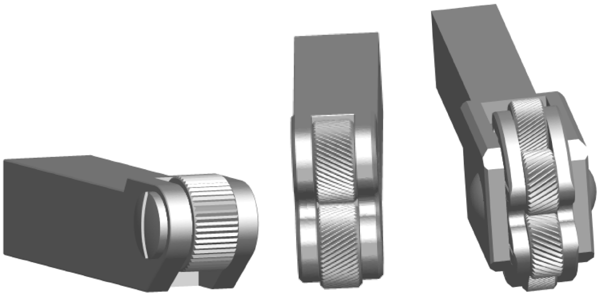


图 4-11　网纹和直纹滚花刀

a）直纹单轮滚花刀　b）两轮网纹滚花刀　c）六轮网纹滚花刀

2. 参考加工方法与工序的设计

加工步骤如下：

锥度台阶轴：车夹持位→调头、车端面、打中心孔→粗车各尺寸、滚花→调头、定总长、打中心孔→粗车各尺寸→粗、精车外圆锥，精车各台阶→检验。

套：车夹持位→调头，车端面，钻孔，粗车外圆、槽→粗车内圆锥→精车外

圆，精车内圆锥→调头、定总长，粗、精车各内孔台阶→检验。

组合：该组合件比较简单，组合尺寸要求在零件加工中基本完成。

根据装配基准的选择方法，选择锥度台阶轴的外圆锥面和 $\phi40_{-0.025}^{\ 0}$ mm、$\phi45_{-0.025}^{\ 0}$ mm 台阶作为基准，因此，应该首先加工锥度台阶轴，再根据锥度台阶轴的实际尺寸加工套。

1）锥度台阶轴的车削。

① 车端面，打中心孔。

② 粗车轴外圆（圆锥部分不车，按大端尺寸留余量0.5mm）；滚花，如图4-12所示。切断。

技能大师经验谈：

滚花刀应装正，两轮对准主轴中心，开始滚花时接触1~2mm即可，进给时要稍用力，滚压时工件线速度以5~10m/min为宜，用机械油作为滚花的冷却润滑液。试滚时，当刀纹明显清晰再进给，如果发现乱纹，则应及时退出后，减小滚轮与工件的接触面，再适当增加压力重滚。

此时，如果先将圆锥部分粗车好，将会造成锥度找正无基准、工件不好装夹；如果滚花留到后面工序，又会造成装夹强度不够等问题。

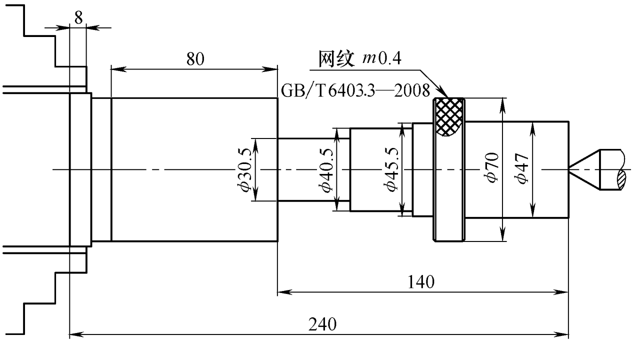


图4-12 粗车外圆、滚花

③ 调头，定总长，钻中心孔。

④ 两端顶，精车台阶各尺寸，如图4-13所示。

技能大师经验谈：

本例中的内、外圆尺寸，仅影响配合精度，可加工至两极限尺寸的中间值。

⑤ 调头，两端顶（包纯铜皮防止夹伤），精车圆锥面大端外圆。

⑥ 用百分表找正小滑板搬角度的方法粗、精车1∶5圆锥。图样上没有标注角度公差要求，按表4-1选择为1∶5±30′。

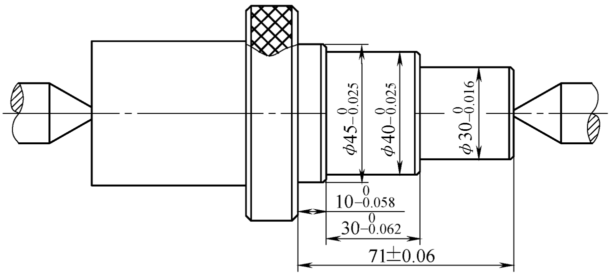


图 4-13　精车台阶尺寸

技能大师经验谈：

按圆锥半角转动小滑板；将磁力表架装在小刀架上，百分表测杆装成水平并垂直于主轴轴线，测头中心与主轴中心等高，如图 4-14 所示。摇动中滑板，使百分表测头压缩值大于$\overline{BC}$值 0.5mm（此时为顺锥调整，如果是倒锥则不考虑$\overline{BC}$值，压缩值为 0.5mm），将百分表调整为零位；消除小滑板丝杠向前移动的间隙后，摇动小滑板$\overline{AB}$的距离，如百分表指示值正好等于$\overline{BC}$值，则说明圆锥半角已经调准，否则还要细调。

$$\overline{BC}=\overline{AB}\sin(\alpha/2)\pm\Delta L/2$$

式中　$\overline{BC}$——百分表应指示的刻度值（mm）；

$\overline{AB}$——小滑板摇动距离（mm）；

$\alpha/2$——锥体圆锥半角（°）；

ΔL——圆柱表面的圆柱度误差（mm）。

用作调整的圆柱表面的圆柱度误差尽可能小（如有误差，一定要将误差代入公式计算）；表面粗糙度值要低；调整长度大于圆锥长度。

为使调整计算方便，$\overline{AB}$值尽可能取整数。小滑板用来调整和车削圆锥的全行程，应避开小滑板两端用得较少的极限位置，以防因手感轻重不同及圆锥素线不直而造成的调整误差。

圆锥小端尺寸的测量如图 4-15所示。

$$M=a+d+d\cot\frac{90°-\beta}{2}$$

式中　M——测量读数的名义尺寸（mm）；

d——标准圆柱直径（mm）；

a——锥体小端直径名义尺寸（mm）；

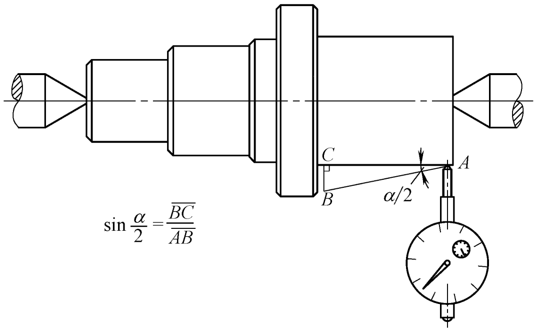


图 4-14　用百分表找小滑板锥度

β——锥体 $\alpha/2$ 的实际角度（°）。

技能大师经验谈：

车圆锥面时，车刀装刀应严格对准工件旋转中心，防止圆锥素线出现双曲线误差而影响锥面的接触面积。

精车车刀应保持锋利，保持均匀的进给，以保证圆锥表面的表面粗糙度要求。

2）套的车削。

① 车端面；钻孔；粗车外圆及槽，如图 4-16 所示。

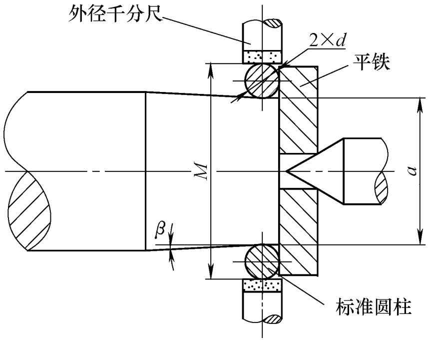


图 4-15　测量圆锥体小端直径

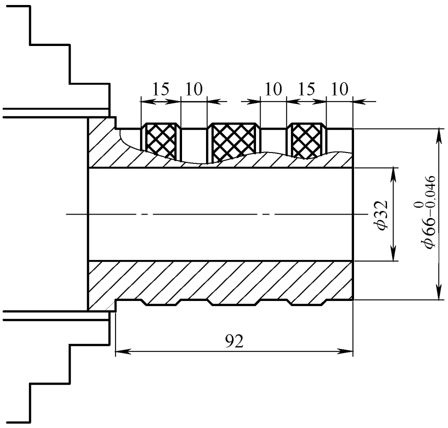


图 4-16　粗车外圆及槽

② 粗车内圆锥；精车外圆槽；精车外圆、内圆锥，滚花。

③ 调头，垫纯铜皮装夹第一台阶，定总长；粗、精车台阶孔。

技能大师经验谈：

车槽时先划好线，防止切错位置。

滚花前精车外圆作为调校 $\alpha/2$ 圆锥角的基准。

用红丹（或黄丹）作为显示剂，均匀涂在锥度台阶轴外圆锥（装配基准）表面，锥面配合后，将锥度台阶轴往复转动 1/3 转，观察被“复印”的显示剂接触面积和分布情况，若需要，可将接触表面展开计算百分数，从而确定内圆锥角与外圆锥角配合的准确性及圆锥配合的接触面积。用此法检验要注意以下几方面：红丹显示剂调配应稠、稀适中；显示剂涂层厚度适当，当外圆锥表面涂上显示剂后，其表面稍变色即可；圆锥表面在涂显示剂前应清理干净。显示剂的配制方法：取红丹或黄丹若干，用适量的 20 号机械油调匀即可。注意：若调得过稀，则会在轴套配合时，显示剂被“挤动”，造成接触斑假象；若调制过干，则会造成未被“复印”的假象。整个调配过程中要保持高度的洁净，严禁灰尘、杂物混入。

被检圆锥配合面表面粗糙度 Ra 值应小于 1.6μm。

通过塞尺测量内圆锥尺寸，将两端面尺寸控制在 $1^{+0.05}_{0}$mm 范围内。

3. 主要部位的检验

（1）轴跳动的检验　如图 4-17 所示，可采用偏摆仪或在车床上两端顶，用百分表检验。此时，用手转动轴一周即可通过百分表读出跳动误差值。

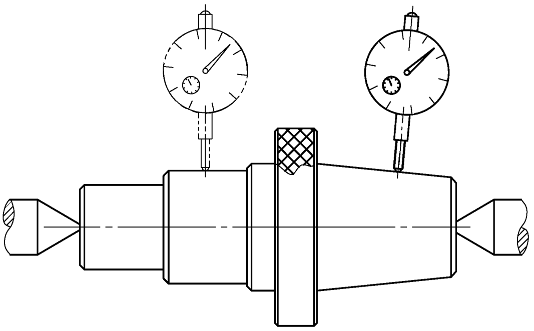


图 4-17　轴跳动的检验

（2）套外圆槽底跳动的检验　将轴、套清洗干净后组合，采用上法检验即可，如图 4-18 所示。

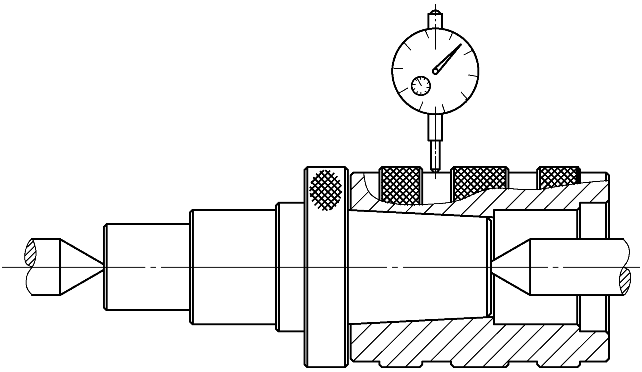


图 4-18　组合后套外圆槽跳动的检验

4.3　轴套四件组合的车削加工

轴套四件组合如图 4-19～图 4-23 所示。

1. 技术要求与工艺分析

（1）主要技术要求

1）锥套：尺寸公差 6 处；1∶5 内圆锥与偏心轴外圆锥配合，接触面≥70%。

2）偏心套：尺寸公差 5 处；偏心距尺寸（1±0.02）mm 与偏心轴配合；圆度公差 1 处。

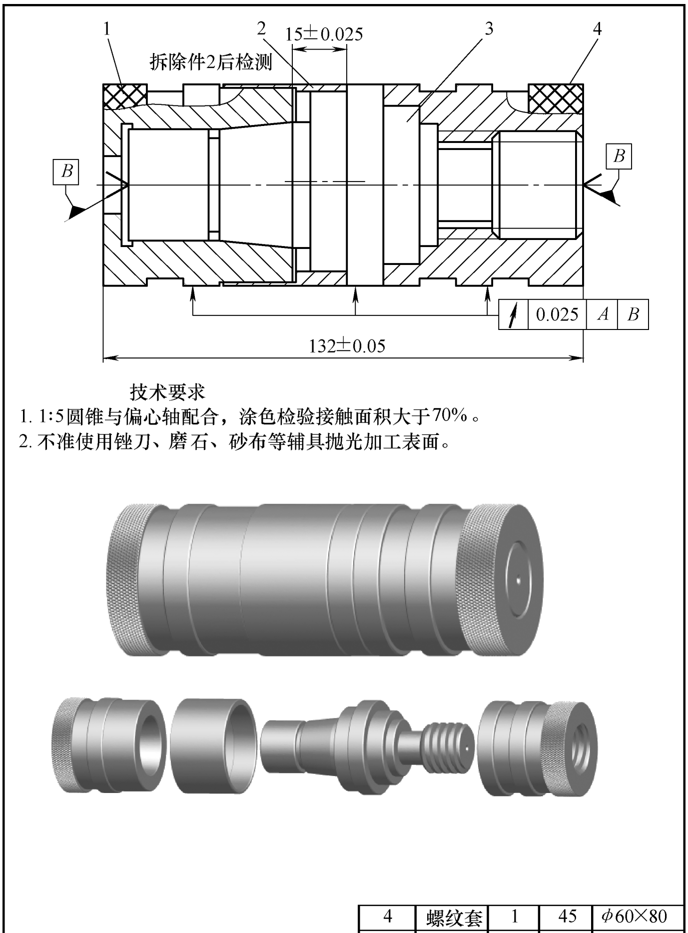
3）偏心轴：尺寸公差 8 处；偏心距尺寸（1±0.02）mm 与偏心套配合；1∶5

外圆锥与锥套内圆锥配合，接触面≥70%；双线梯形螺纹大径、中径、小径尺寸分别为 $\phi30_{-0.335}^{\ 0}$ mm、$\phi27.5_{-0.406}^{-0.106}$ mm、$\phi24_{-0.481}^{\ 0}$ mm，牙型角为 30°±15′；跳动公差 1 处。

4）螺纹套：尺寸公差 8 处；内双线梯形螺纹与偏心轴梯形螺纹配合。

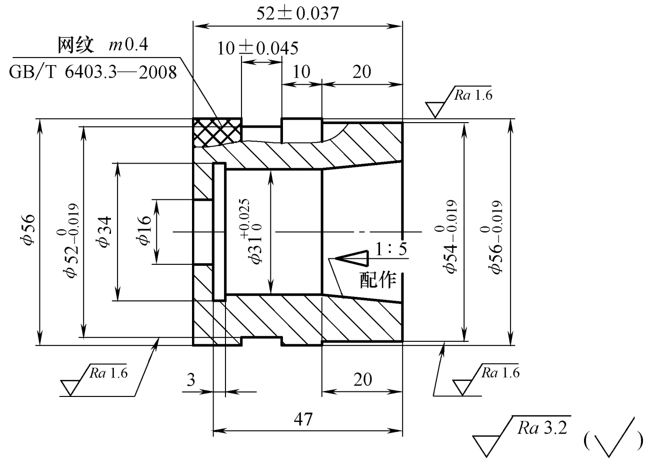
5）组合后总长、局部长尺寸有 2 处公差要求；有 3 处位置精度要求。

（2）工艺分析　该组合件由四件组成，分别有圆锥配合、梯形螺纹配合、偏心配合及内、外圆直径配合，有一定的加工难度。本例为 2003 年全国职工职业技能大赛决赛试题。



序号	名称	数量	材料	毛坯尺寸
4	螺纹套	1	45	φ60×80
3	偏心轴	1	45	φ60×130
2	偏心套	1	45	φ60×115
1	锥套	1	45	
工时定额			4h/套	

图 4-19　轴套四件组合



技术要求

1. 未注公差按 IT14 加工。

2. 锐边倒钝 $C0.5$。

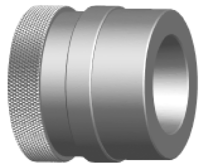
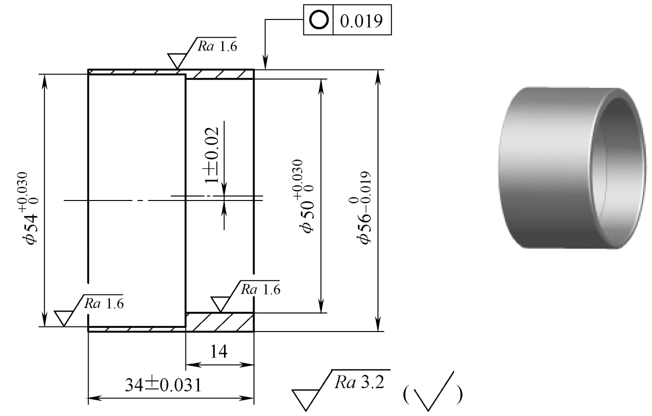


图 4-20　锥套



技术要求

1.未注公差按 IT14 加工。

2.锐边倒钝 $C0.5$。

图 4-21　偏心套

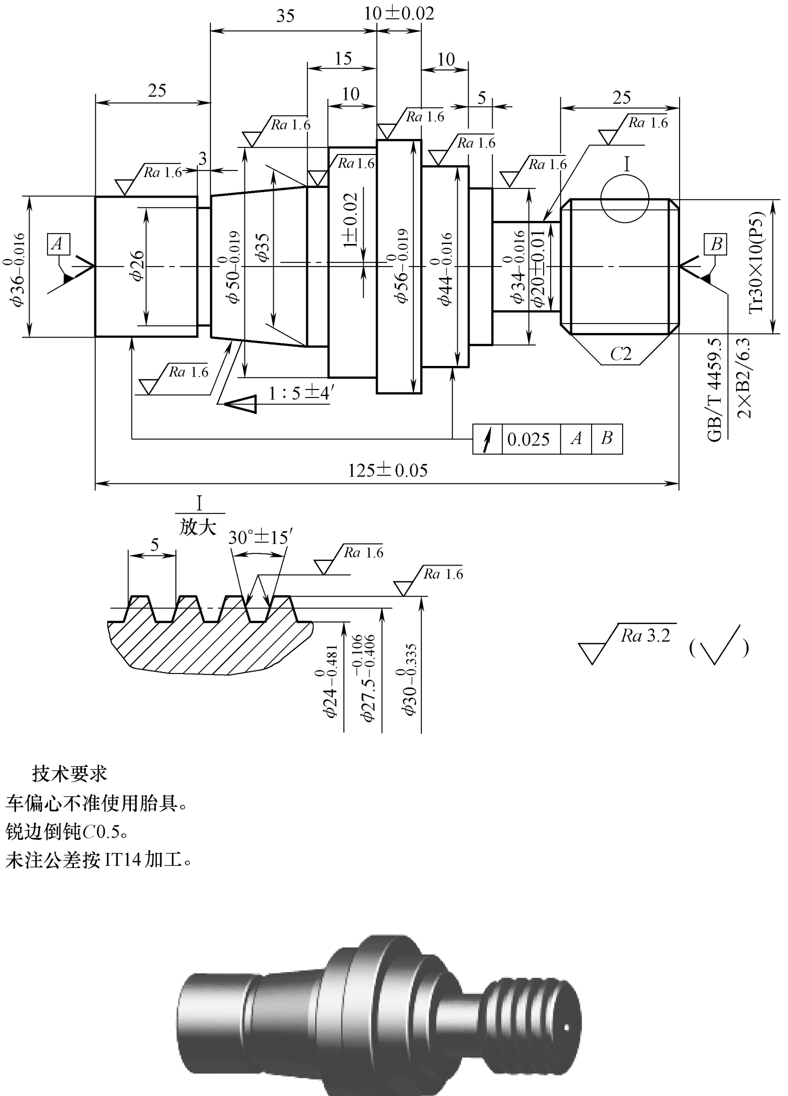
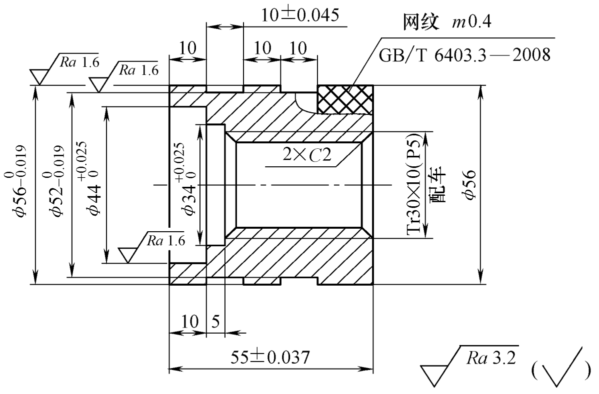


图 4-22　偏心轴

1）1∶5 内、外圆锥配合要求圆锥接触面≥70%，应在车削时从多方面着手，其中包括小滑板角度的调整、车刀的刃磨及安装、尺寸的控制等。

内、外圆锥均适合采用百分表找正小滑板搬角度的方法，先确定偏心轴的外圆锥为装配基准，以外圆锥作为塞规，车削内圆锥；此外，在调整小滑板角度时，尽可能使两组合件调整误差一致，以保证能达到70%的锥度接触面。

2）虽然图样上没有提出内、外梯形螺纹配合的具体要求，但在加工中应将



技术要求

1. 未注公差按 IT14 加工。

2. 锐边倒钝 C0.5 。

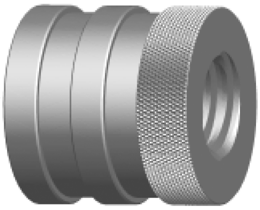


图 4-23　螺纹套

内、外螺纹配合的轴向窜动间隙控制在 0.1mm 之内，大径、中径、小径均取最小极限值。车好外螺纹后，以外螺纹作为塞规车内螺纹，使它们之间的配合既轻松自如，又能控制它们之间的轴向窜动量小于 0.1mm。偏心轴与螺纹套之间不仅有双线的梯形螺纹配合，而且还有两组内、外圆柱配合，由于三组配合的相互影响，两组内、外圆柱配合也应分别取尺寸公差的最大和最小极限尺寸，这样，控制各尺寸就能在顺利组装的同时也满足各尺寸的公差要求。

3）由锥套、偏心套、偏心轴组成的偏心配合是该组合件的主要难点。其中偏心套又是薄壁套，极易受切削力和切削热影响而变形，影响组合精度。

当偏心轴与锥套之间的圆锥组合以后，偏心套的内孔尺寸、长度尺寸即被确定了。它不仅受偏心轴和锥套外圆尺寸精度的影响，而且受制于锥套的内圆锥与外圆尺寸 $\phi54_{-0.019}^{\ 0}$mm 之间的位置以及偏心轴的偏心距精度，其中某一环节出现问题，就存在不能组合的可能。因此，采用合理的加工方法，设计切实可行的工序显得尤为重要。

① 车削锥套时，为减小或消除外圆 $\phi54_{-0.019}^{\ 0}$mm 与内圆锥、内孔 $\phi31_{\ 0}^{+0.025}$mm 的同轴度误差，应安排在一次装夹中车出。

② 找正偏心套的偏心距时，找正误差尽可能同于偏心轴。

③ 参与偏心组合各零件的尺寸，除偏心距和圆锥要按公差中间尺寸加工外，其余内、外圆尺寸均应分别按最大和最小极限尺寸加工，这样，可通过适当加大的配合间隙来弥补中心距尺寸误差、偏心套变形等所造成的难以组合。

④ 偏心套是薄壁套，在车削中要严格控制切削温度，降低切削力和减小装夹应力，时刻保持车刀锋利。

2. 参考加工方法与工序设计

确定装配基准：

确定偏心轴的外梯形双线螺纹、1∶5 外圆锥、偏心外圆为装配基准。先加工这些装配基准，再根据装配基准各尺寸加工各相应配合零件。

加工步骤如下：

偏心轴→锥套→偏心套→螺纹套。

（1）偏心轴的车削　车端面；粗车左端外圆；钻中心孔→调头，定总长；钻中心孔→粗车右端外圆、螺纹→精车各外圆、外圆锥→粗、精车偏心圆→检验。

1）车端面；粗车图样左端外圆；钻图 4-24 所示形状的中心孔。

2）调头，车总长；打中心孔；粗车图 4-25 所示形状尺寸，粗车双线梯形螺纹，粗车前用尖刀刻划好双线螺纹的螺旋线。

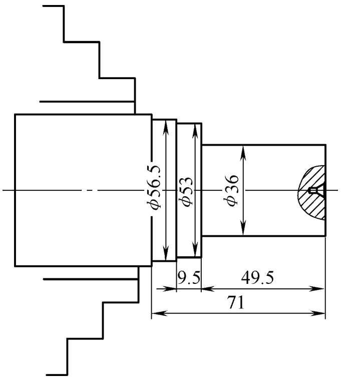


图 4-24　粗车偏心轴的一端

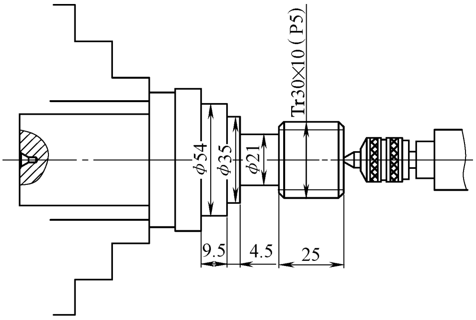


图 4-25　粗车另一端及螺纹

技能大师经验谈：

车螺纹时为提高装夹刚度，最好能用活动顶尖顶持。

3）如图 4-26 所示，包纯铜皮，采用两端顶的装夹方法，精车 ϕ36mm×50mm 外圆，提供百分表找小滑板角度的找正基准；（找正操作方法参考上例“轴套组合”）。粗、半精车外圆；粗、精车 1∶5 外圆锥。

技能大师经验谈：

在精车圆锥的最后一刀时采用反摇小滑板的方法，控制圆锥大端尺寸；该工序还应引起注意：与组合有关的各台阶尺寸，有些虽未标注长度公差，但是为了组合尺寸的准确性，在精车时应当尽可能测量准确，为总组装修整带来方便。

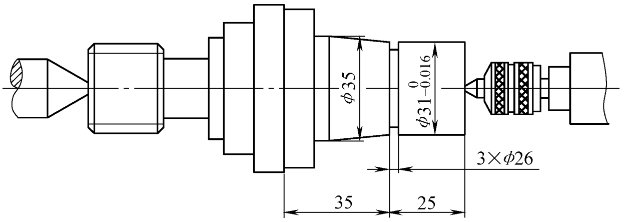


图 4-26　车找正基准、外圆、外圆锥

按最小极限尺寸半精车、精车参与配合的各外圆；精车台阶长为最小极限尺寸；为保证组合尺寸精度（组装图中偏心轴的端面与螺纹套组合后端面是一个平面），应将偏心轴右端长度尺寸车成与螺纹套总长尺寸相同，即螺纹套的最大极限尺寸 55.037mm。

4）调头，包纯铜皮，采用两端顶、小滑板轴向分线方法，精车双线梯形螺纹。

技能大师经验谈：

梯形螺纹精车车刀在装刀时，采用样板对刀法，严防“倒牙”。中径尺寸用三针测量法控制；控制小径尺寸采用以大径为基准，中滑板刻度控制背吃刀量的方法。各尺寸均按最小极限尺寸加工。车削时加注充分的以润滑为主的切削液。

5）包纯铜皮，用卡爪夹持 $\phi44_{-0.016}^{\ 0}$mm 外圆，用自定心卡盘垫偏心的方法车偏心。

技能大师经验谈：

偏心垫铁的宽度应与所夹持的台阶宽度、所包的铜皮宽度相等。这样可减小装夹误差，消除“别力”。

找正偏心距尺寸前，首先应检查工件偏心部分的轴线是否与主轴轴线平行，分别在卡盘转 90°时，摇动大滑板，用百分表找正。

用自定心卡盘车偏心对卡盘有一定的精度要求，但其定心误差是客观存在的。如找正偏心距有误差，不要轻易增减垫铁厚度，而应将卡盘略松到工件刚能转动、工件台阶紧靠卡爪端面时，将工件略转一个角度夹紧再检查，或轮换使用卡盘的扳手孔夹紧，往往能减小偏心距找正误差。偏心距找好后必须把找正实际误差记录好，作为车偏心套找正的依据。

（2）锥套的车削　锥套与偏心套共料。

粗车→滚花→钻孔→切断→粗、精车外圆→粗、精车内孔→粗、精车内圆锥。

1）粗车至图 4-27 所示各尺寸，滚花，切断。

2）调头，包纯铜皮，夹持滚花部分，精车总长至最大极限尺寸；粗、半精车内孔各尺寸；粗、精车外圆各尺寸。

技能大师经验谈：

圆锥找正误差应同于偏心轴圆锥的找正误差；用偏心轴外圆锥作塞规，检查圆锥接触面与尺寸。

（3）偏心套的车削　车完锥套后还余毛坯料长 58mm。车夹持位→钻孔→粗、精车内、外圆→粗、精车偏心圆；倒角；切断→检验。

1）车夹持位。

2）调头装夹，如图 4-28 所示；粗车外圆、钻孔、扩孔至图 4-29 所示尺寸；精车外圆和孔 $\phi54^{+0.03}_{0}$mm 至尺寸；倒角。

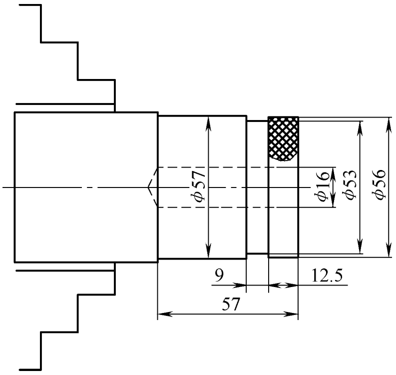


图 4-27　锥套的粗车与滚花

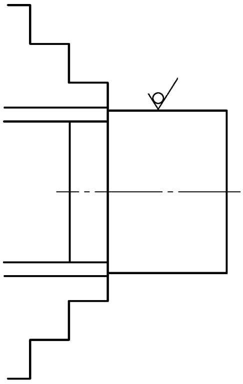


图 4-28　偏心套的装夹

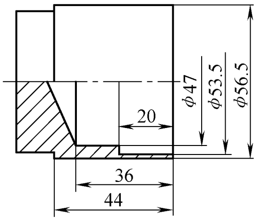


图 4-29　偏心套的粗车

3）包纯铜皮，垫偏心垫铁，找正工件的偏心圆中心线与主轴中心线平行，如图 4-30 所示。找正偏心距；车削偏心内孔，将尺寸控制至最大极限；内孔倒角；切断。

技能大师经验谈：

钻、扩孔时注意不要钻通，深度控制在 36mm 为宜，可减小装夹变形。

工件外圆温度超过室温时，可用冷却泵强行冲洗降温后，精车好外圆和内孔，并应及时用内、外圆倒角尖刀倒角（含偏心内孔），以免毛刺影响组装（如调头装夹再倒角，则会造成夹持变形），如图 4-31 所示。内、外圆用大前角、大主偏角高速钢车刀车削，车刀应保持锋利、尽可能减小切削力。

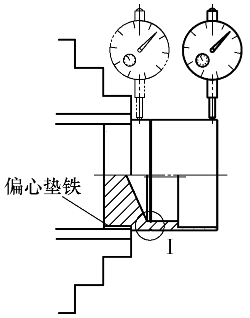


图 4-30　车偏心的装夹与找正

技能大师经验谈：

偏心套的总长公差为0.062mm，可采用深度尺或小滑板在切断时控制。

切断时，用木棒接好，注意轻拿轻放，防止变形。

（4）螺纹套的车削　车夹持位→车内螺纹空刀位→调头，粗车内、外圆→滚花→粗、精车梯形螺纹→精车内、外圆，切断→定总长。

1）车端面、外圆车见光，按内梯形螺纹钻底孔，放余量1mm；车螺纹空刀位（左端），如图4-32所示。

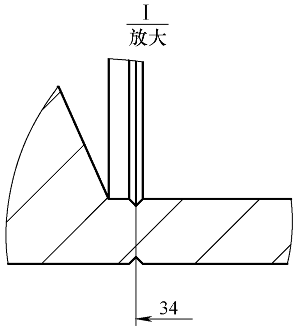


图4-31　精车后的内、外圆倒角

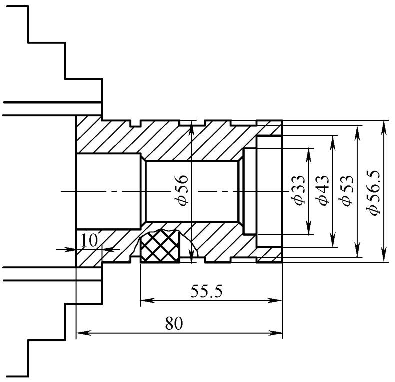


图4-32　粗车螺纹套

2）调头，车端面；定总长；粗车内、外圆；切槽；滚花；精车螺纹小径，两端倒角；半精车$\phi56_{-0.019}^{0}$mm外圆至$\phi56.5$mm，粗、精车内梯形螺纹；精车各内、外圆尺寸；切断。

技能大师经验谈：

车梯形螺纹前半精车$\phi56_{-0.019}^{0}$mm外圆，是为车内螺纹“扎刀”后工件位移的再找正而提供的找正基准。

车螺纹以底孔直径为进给的对刀基准，用中滑板刻度控制背吃刀量，采用分层法、小滑板轴向分线法车梯形螺纹，用偏心轴的螺杆作为螺纹塞规，综合检验内梯形螺纹尺寸。

3）调头，包纯铜皮，夹外圆，用百分表找正端面，精车端面，将总长车至最大极限尺寸。

（5）总组装后的修整　总组装后的总长度尺寸公差、各组件的圆跳动公差以及某些局部长度尺寸，它们对组合质量影响很大。因此，全套组件加工完后，留一定的时间为组件进行修整是非常必要的。

在加工过程中，锥套和螺纹套的总长均加工至最大极限尺寸，偏心轴参与组合的各长度尺寸也得到了控制，因此，总长度（132±0.05）mm应基本准确，如果超差也应是能修复的正超差，锥套与螺纹套组合后两端的端面均可光刀。

长度（15±0.025）mm尺寸在车锥套的内圆锥时就已经控制好了。

3. 主要部位的检验

（1）偏心距的检验　偏心距的检验是在平板上进行的，将被测件放在 V 形架中，转动被测件一周，百分表读数的 1/2 即为工件实际偏心距。

（2）圆跳动误差的检验　将　各组合件的组合面及中心孔擦拭干净，组合。在偏摆仪或车床上两端顶持，用手转动组合体，在需检验处读出百分表读数，即为工件的圆跳动误差，如图 4-33 所示。

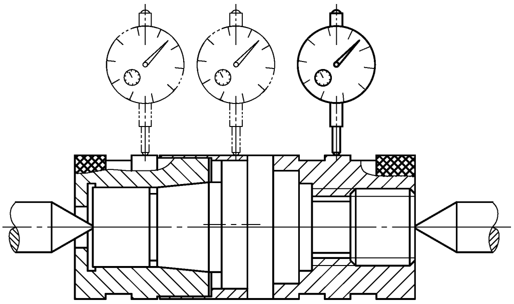
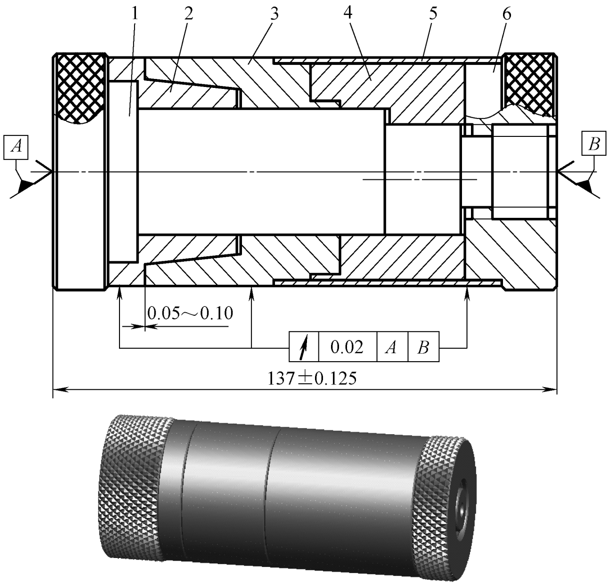


图 4-33　组合后圆跳动的检验

4.4　轴套六件组合的车削加工

轴套六件组合如图 4-34～图 4-40 所示。

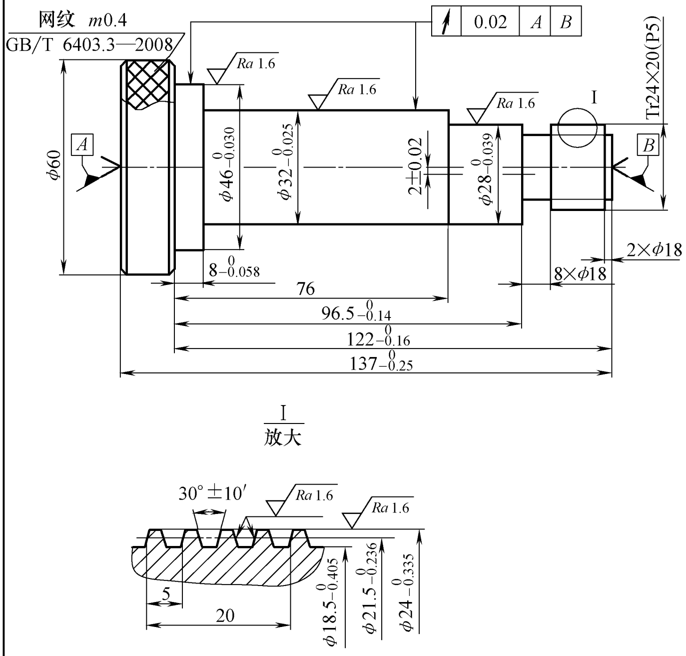


技术要求

1. 不准使用锉刀、砂布、磨石锉抛光加工表面。
2. 螺纹配合轴向窜动最大间隙不大于 0.10mm。
3. 未注公差按IT12加工。
4. 圆锥配合用涂色法检验，接触面积大于 70%。

序号	名称	数量	材料	毛坯尺寸
6	螺　母	1	45	ϕ65×220 ϕ65×175 各一根
5	薄壁套	1	45	
4	双偏心套	1	45	
3	阶台轴套	1	45	
2	锥　套	1	45	
1	偏心轴	1	45	
工时定额			6.5h/套	

图 4-34　轴套六件组合



技术要求

1. 未注倒角C1，锐边倒钝C0.5。
2. 不准使用锉刀、砂布、磨石抛光加工表面。

Ra 3.2 (√)

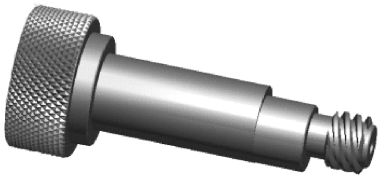
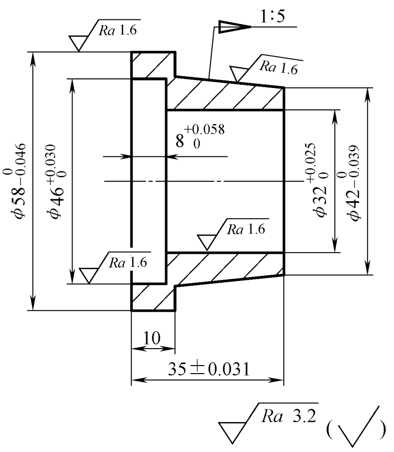


图 4-35　件 1 偏心轴



技术要求

1. 锐边倒钝 C0.5。
2. 不准使用锉刀、砂布、磨石抛光加工表面。

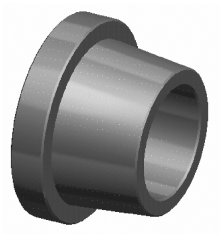
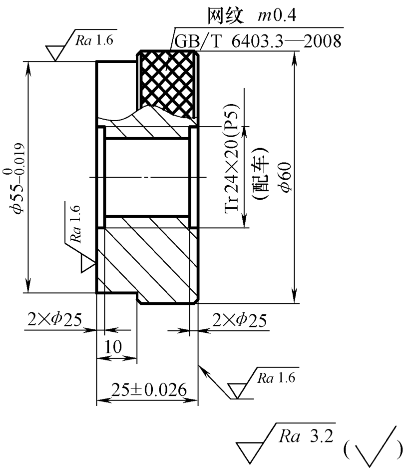


图 4-36　件 2 锥套



技术要求

1. 未注倒角 C1，锐边倒钝 C0.5。
2. 不准使用锉刀、砂布、磨石抛光加工表面。

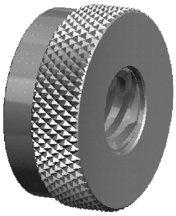
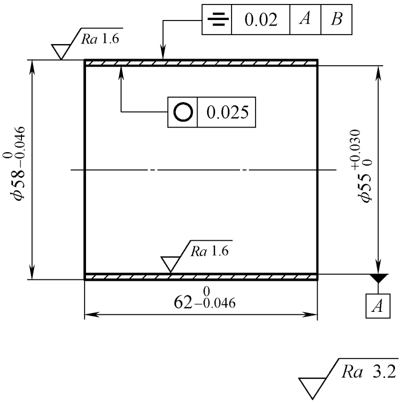
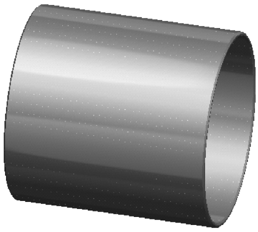


图 4-37　件 6 螺母





技术要求

1. 锐边倒钝 C0.5。
2. 不准使用锉刀、砂布、磨石抛光加工表面。

图 4-38　件 5 薄壁套

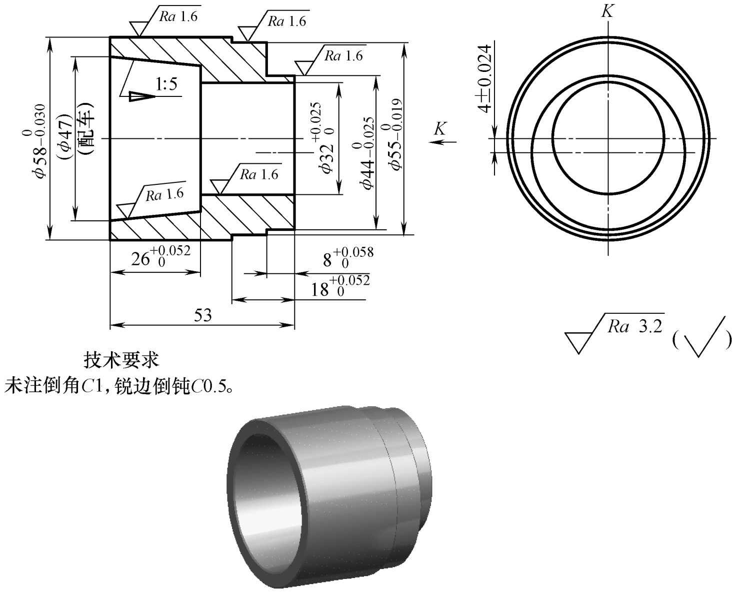


图 4-39　件 3 阶台轴套

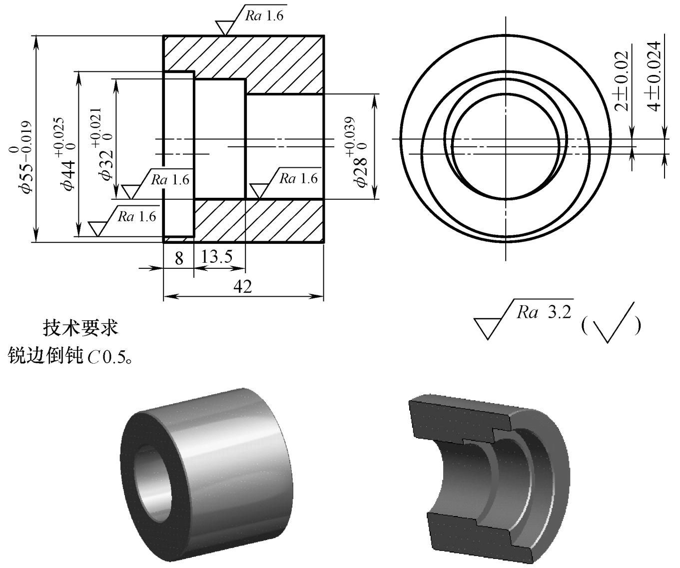


图 4-40　件 4 双偏心套

1. 技术要求与工艺分析

（1）技术要求　组合后的间隙 0.05～0.10mm；总长为（137±0.125）mm；被测表面相对于中心孔的轴线有圆跳动 0.02mm。1：5 圆锥配合接触面要求大于

70%；螺母与偏心轴的螺纹的配作，轴向窜动<0. 12mm。有圆锥配合、螺纹配合、偏心配合、内外圆配合、表面滚花、薄壁套。

1）偏心轴：尺寸公差有 10 处；梯形螺纹是四线螺纹，并且有尺寸精度要求；表面滚花网纹 $m=0.4$。偏心距为（2±0. 125）mm。

2）锥套：尺寸公差有 6 处；1∶5 内圆锥与锥套的外圆锥配合，接触面≥70%。偏心距（2±0. 02）mm 与阶台轴套配合。

3）螺母：尺寸公差有 2 处；螺纹配合，轴向窜动最大间隙<0. 10mm。有表面滚花。

4）薄壁套：尺寸公差有 3 处；有几何公差要求。与螺母、阶台轴套、双偏心套配合。

5）阶台轴套：尺寸公差有 7 处；偏心距（4±0. 024）mm 与双偏心套配合。1∶5 内圆锥与锥套配合。

6）双偏心套：尺寸公差有 4 处；偏心距（4±0. 024）mm 与阶台轴套配合。偏心距（2±0. 02）mm 与偏心轴套配合。

（2）工艺分析

1）零件备料为 ϕ65mm×220mm、ϕ65mm×175m 的 45 钢圆棒料。通过对图样分析，ϕ65mm×220mm 圆棒料是由件 1、件 2 和件 6 共料的；ϕ65mm×175m 圆棒料是由件 3、件 4 和件 5 共料的。

2）由于工件 2、件 3、件 4 外圆上对件 1 两端中心孔 A、B 轴线径向圆跳动公差为 0. 02mm，为了保证件 2、件 3、件 4 及件 5 的顺利装配后，件 1 两端中心孔 A、B 轴线径向圆跳动公差为 0. 05mm 的要求，件 1 外圆 $\phi 32_{-0.025}^{\ 0}$mm、$\phi 46_{-0.030}^{\ 0}$mm 必须在前后顶尖顶住两头中心孔的情况下最后一次精车完成。

3）在车削件 3、件 4 的外圆和偏心孔时，一定要注意加工顺序的安排，切记一定采用一次装夹加工完成，否则很难保证两件偏心距的大小。

4）在车削薄壁套时，为保证圆度、圆柱度能达到要求，必须在一次装夹中车成。为保证工件不变形，要严格控制切削温度；减小切削力和装夹应力；时刻保持车刀锋利。

2. 参考加工方法与工序设计

确定装配基准：确定外梯形双线螺纹、外圆、偏心外圆为装配基准。先加工这些装配基准，再根据装配基准各尺寸，加工各相应配合零件。

加工步骤：件 1 偏心轴→件 2 锥套→件 6 螺母→件 5 薄壁套→件 4 双偏心套→件 3 阶台轴套。

（1）件 1 偏心轴、件 2 锥套和件 6 螺母下料分配　如图 4-41 所示。

（2）件 1 偏心轴、件 2 锥套和件 6 螺母车削　精车端面→车夹持位→调头→精车端面→钻中心孔→一夹一顶，装夹工件→粗、精车外圆→滚花。

1）件 1 偏心轴的车削。

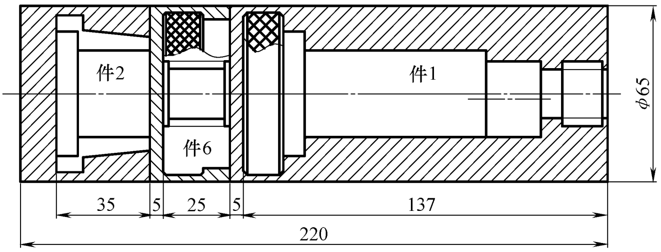


图 4-41　下料分配

① 夹持 ϕ65mm 的毛坯外圆。精车端面，车夹持位。

② 调头。精车端面，钻中心孔。

③ 一夹一顶，装夹工件；粗车外圆各台阶尺寸至图 4-42 所示要求。其中 ϕ47mm 作为找正偏心的基准。

④ 松开卡盘，包纯铜皮，垫偏心垫铁，找正工件的偏心圆中心线与主轴中心线平行。找正偏心距，工件偏心距为（2±0. 02）mm。

⑤ 松开卡盘，一夹一顶，装夹工件；粗、半精车至图 4-43 所示要求的尺寸。

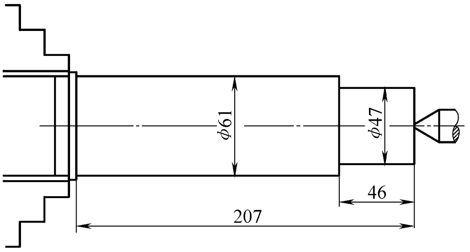


图 4-42　找正偏心的基准

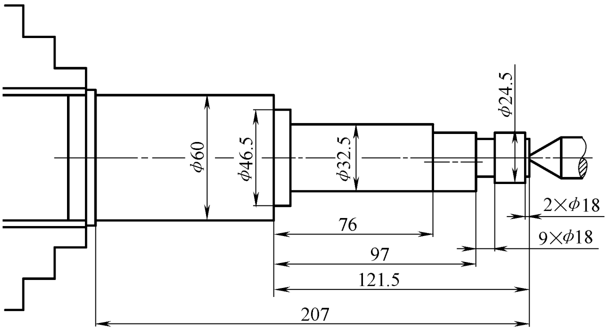


图 4-43　粗、半精车偏心轴

⑥ 滚花，滚花的长度大约 50mm，切断，如图 4-44 所示。

2）件 6 螺母的车削。

① 精车端面，粗、精车 ϕ55mm 外圆至尺寸要求；用 ϕ17mm 麻花钻钻通工件。

② 倒角，切断，保证长度 25. 5mm。

3）件 2 锥套的车削。

① 精车端面，粗、精车 ϕ58mm 外圆至尺寸要求，保证长度 35mm。

② 用百分表找正小滑板搬角度的方法粗、精车 1∶5 锥度，保证长度 25mm；粗、精车 ϕ32mm 内孔至尺寸要求；倒角，如图 4-45 所示。

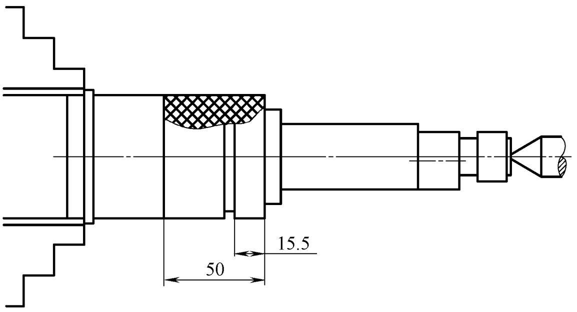


图 4-44　滚花

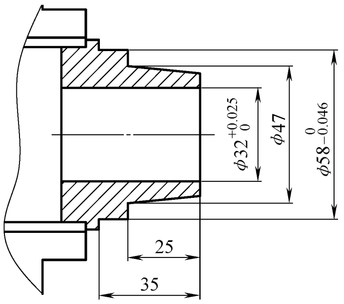


图 4-45　车锥度、内孔

4）件 2 锥套反面的车削。

① 包纯铜皮，找正工件，夹紧；精车端面，保证长度（35±0.031）mm。

② 粗、精车 ϕ46mm 内孔至尺寸要求、保证长度 $8^{+0.058}_{0}$mm，倒角。

5）件 1 偏心轴调头的车削。

① 包纯铜皮，找正工件，夹紧；精车端面，保证长度 $137^{0}_{-0.25}$mm。钻中心孔，倒角。

② 调头，包纯铜皮，采用两顶尖顶住中心孔装夹，粗、精车各台阶圆尺寸、长度至尺寸要求；粗、精车梯形螺纹 Tr24×20（P5）至尺寸要求，如图 4-46 所示。

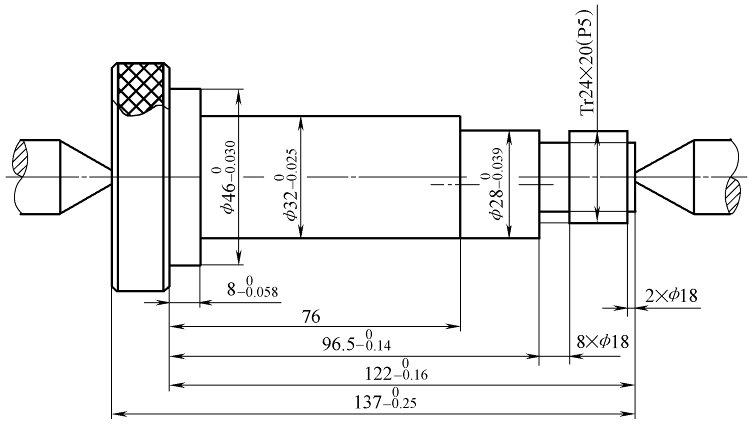


图 4-46　精车 ϕ46mm、ϕ32mm 外圆和梯形螺纹

技能大师经验谈：

① 车削多线螺纹时，由于多线螺纹导程大，车削时进给速度快，所以，车削时思想要集中，退刀要及时，同时合理选择主轴转速，防止碰撞卡盘。

② 由于多线螺纹螺旋升角较大，刃磨车刀时要注意两侧后角角度的选择。

③ 在采用移动小滑板分线时，先检查小滑板行程量是否能满足分线要求。车削前，应调整小滑板的间隙，不能太松，以防止切削时产生的位移，影响分线精度。小滑板移动方向必须和机床床身导轨平行，否则会造成分线误差及螺旋槽的深浅不一。找正的方法是利用已车好的外圆，找正小滑板导轨的有效行程对床身导轨平行度误差。百分表表架安放在刀架上，百分表触头在水平方向与工件外径接触，手摇小滑板测量，误差不超过 0.02mm/100mm。若有偏差，松开转盘前、后螺钉，进行微调，直至符合要求。分线时，小滑板手柄应朝一个方向旋转，防止由于丝杠和螺母之间的间隙而产生误差。

④ 用百分表读数分线时，螺距数值不能超过百分表的量程。百分表测量杆应平行于工件轴线，否则会产生误差。同时，由于车削时的振动容易使百分表走动，在使用时应经常找正百分表零位。

⑤ 精车螺纹时，要依次在各个螺旋槽中车削，车削时只能在牙型面上单面车削，以矫正赶刀或粗车时所产生的误差。经过多次车削，既能消除分线或赶刀所产生的误差，又能提高螺纹的精度和减小表面粗糙度值。

⑥ 多线螺纹分线不正确的原因：小滑板移动距离不正确；车刀修磨后，重新安装中未检查对准原来的轴向位置，或随便赶刀，使轴向位置移动；工件未夹紧，切削力过大而造成工件微量移动。

6）件 6 螺母调头的车削。

① 包纯铜皮，找正工件，夹紧；精车端面，保证长度（25±0.026）mm；车削 2×ϕ25mm 台阶孔，倒角。

② 包纯铜皮，找正工件，夹紧；粗、精车梯形螺纹底孔，车削 2×ϕ25mm 台阶孔，倒角。

③ 粗、精车梯形螺纹与件 1 的梯形螺纹配作。

（3）件 3 阶台轴套、件 4 双偏心套和件 5 薄壁套下料分配　如图 4-47 所示。

1）下料。

① 夹持 ϕ65mm 的毛坯外圆。精车端面，车夹持位。

② 调头。精车端面，钻中心孔。

③ 一夹一顶，装夹工件；粗车 ϕ61mm 外圆各台阶尺寸至图 3-48 所示要求；粗、精车 ϕ58mm、ϕ55mm 外圆至尺寸要求，其中 ϕ55mm、ϕ58mm 外圆是作为找正偏心的基准。

④ 切断。

2）件 5 薄壁套。

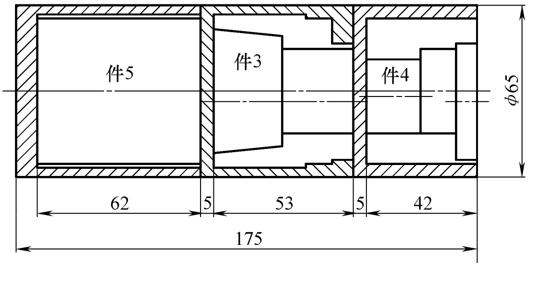


图 4-47　下料分配

① 精车端面，用 ϕ26mm 麻花钻钻至 63mm。

② 粗、半精车内、外圆；留精车余量 0. 08~0. 10mm。

技能大师经验谈：

① 粗、精车分开。粗车后将薄壁工件冷却至室温后再精车，可避免切削力过大和切削热过高而引起的变形。

② 精车前略松卡盘，重新用适当夹紧力夹紧工件，可减小薄壁工件因夹紧力引起的变形。

③ 精车时，应采用高速钢车刀低速精车各尺寸。

③ 倒角，切断。保证长度 $62_{-0.046}^{\ 0}$mm。

3）件 4 双偏心套的车削。

① 包纯铜皮，找正工件，夹紧；精车端面。

② 用 ϕ26mm 麻花钻钻通工件；粗、精车 ϕ28mm 内孔至尺寸要求，保证长度 >42mm。

③ 松开卡盘，垫偏心垫铁，夹持工件外圆长度至 35mm；找正工件的偏心圆中心线与主轴中心线平行。找正偏心距，工件偏心距为（2±0. 02）mm。

④ 粗、精车 ϕ32mm 内孔至尺寸要求，保证长度 21. 5mm，如图 4-49 所示。

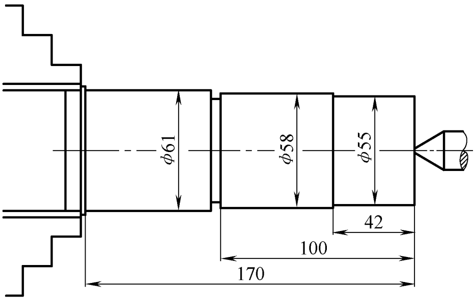


图 4-48 车找正偏心的基准

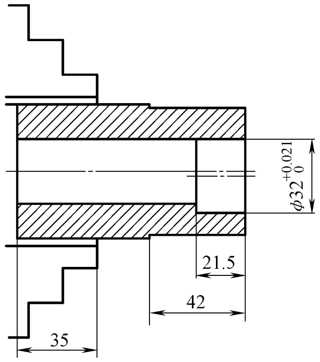


图 4-49 粗、精车 ϕ32mm 内孔

⑤ 松开卡盘，垫偏心垫铁，夹持工件外圆长度至 35mm；找正工件的偏心圆中心线与主轴中心线平行。找正偏心距，工件偏心距为（4±0. 024）mm。

⑥ 粗、精车 ϕ44mm 内孔至尺寸要求，保证长度 8mm。

⑦ 倒角。切断。保证长度 42mm。

4）件 3 阶台轴套的车削。

① 精车端面。

② 粗、精车 ϕ44mm 外圆至尺寸要求，保证长度 $8_{\ 0}^{+0.058}$mm。工件偏心距为（4±0. 024）mm。倒角。

③ 松开卡盘，夹持工件外圆并找正工件，粗、精车 ϕ55mm 外圆至尺寸要求，

保证长度 $18^{+0.052}_{0}$mm。

④ 粗、精车 ϕ32mm 外圆至尺寸要求。

5）件 3 阶台轴套反面的车削。

① 包纯铜皮，找正工件，夹紧。

② 精车端面。

③ 用百分表找正小滑板搬角度的方法，粗、精车 1∶5 锥度，保证长度 $26^{+0.052}_{0}$mm 与件 2 锥套配作；倒角。

6）件 4 双偏心套反面的车削。

① 包纯铜皮，找正工件，夹紧。

② 精车端面。保证长度 42mm；倒角。

3. 主要部位的检验

（1）间隙的检验　零件组合完以后，用 0.05mm 和 0.1mm 的塞尺分别对间隙进行检测。

（2）圆跳动的检验　将各组合件的组合面及中心孔擦拭干净，组合。在车床上两端顶持，用手转动组合体，在检验处读出百分表读数，即为工件的圆跳动误差，如图 4-50 所示。

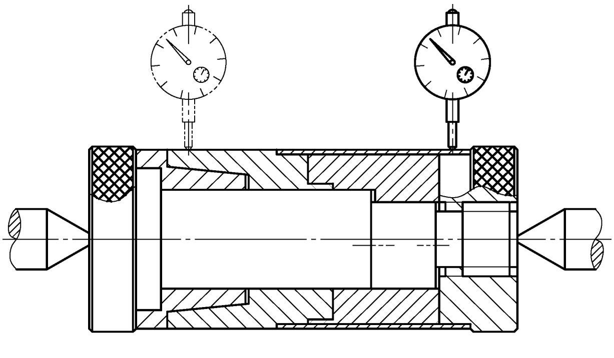


图 4-50　圆跳动的检验

（3）圆度和同轴度的检验

1）同轴度的检验。在工件内孔插入标准心轴，将一对等高的 V 形架放置在精密检验平板上，将心轴两端支承在 V 形架上，心轴的端部顶住固定物，用千分表测头压在工件的外圆上。用手轻轻转动轴一周，同时观察千分表表针的摆动范围，取最大

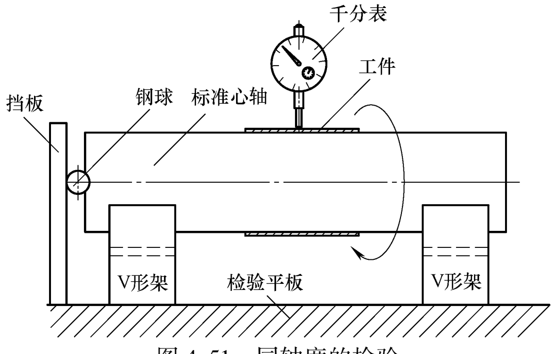


图 4-51　同轴度的检验

值和最小值，两者相减除以 2，即该为工件外圆同轴度误差，如图 4-51 所示。

2）圆度的检验。用内径千分表在工件内孔任一轴向位置的测量截面内，在多个不同方向上测量内孔直径尺寸的实际值，从该测量截面的测量值中找到最大值和最小值，两者相减除以 2，即该为工件内孔圆度误差。

4.5 轴套八件组合的车削加工

轴套八件组合如图 4-52～图 4-60 所示。

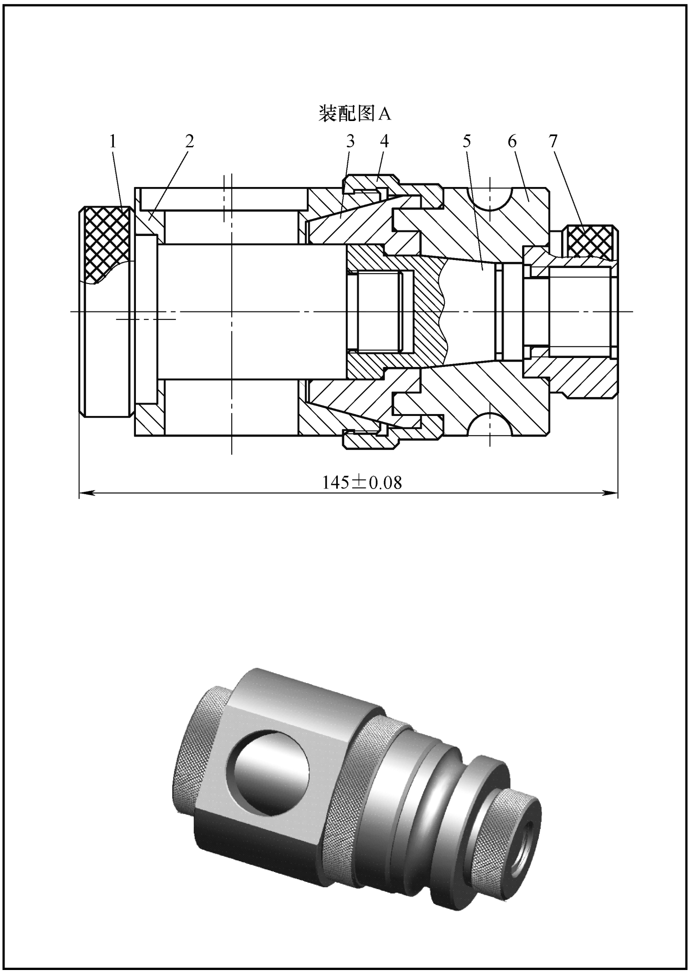
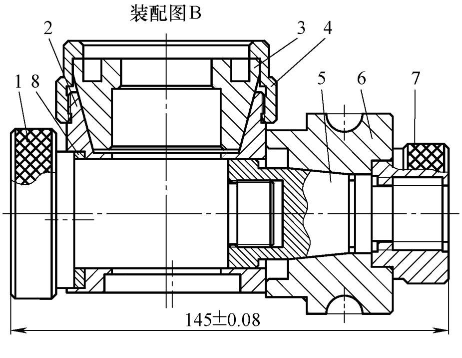


图 4-52 轴套八件组合

装配图B



技术要求

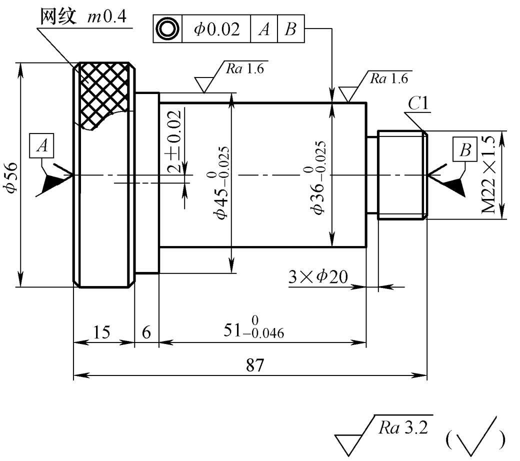
1.不准使用锉刀、砂布、磨石锉抛光加工表面。

2.各螺纹配合轴向窜动最大间隙不大于0.10mm。

3.圆锥配合接触面大于70%。

序号	名称	数量	材料	毛坯尺寸
8	偏心垫	1	45	ϕ85×70 ϕ75×90 ϕ65×140 ϕ50×115 各一件
7	螺母	1	45	
6	内锥套	1	45	
5	锥形螺杆	1	45	
4	压帽	1	45	
3	锥堵	1	45	
2	十字座	1	45	
1	螺杆	1	45	
工时定额			8h/套	

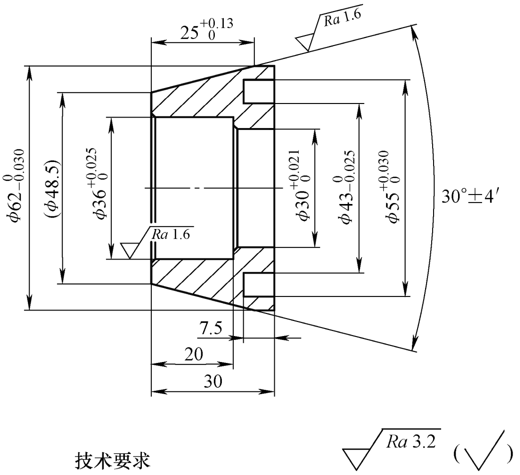
图4-52　轴套八件组合（续）

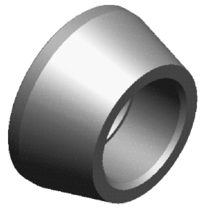


技术要求

未注倒角C1.5；锐边倒钝C0.5。

图 4-53　件 1 螺杆

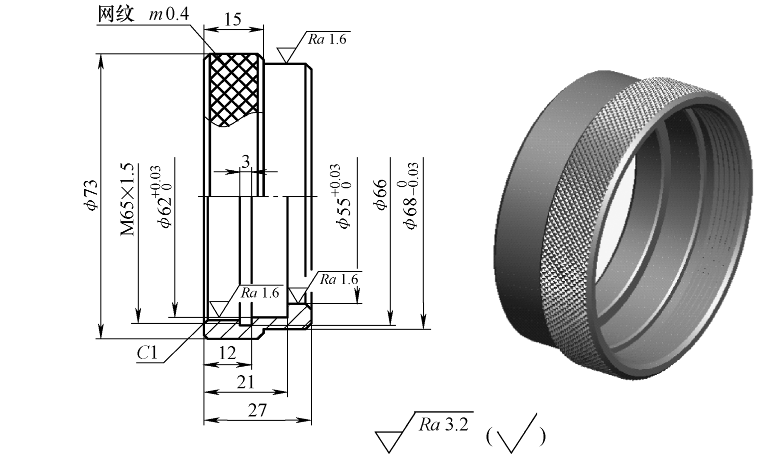




技术要求

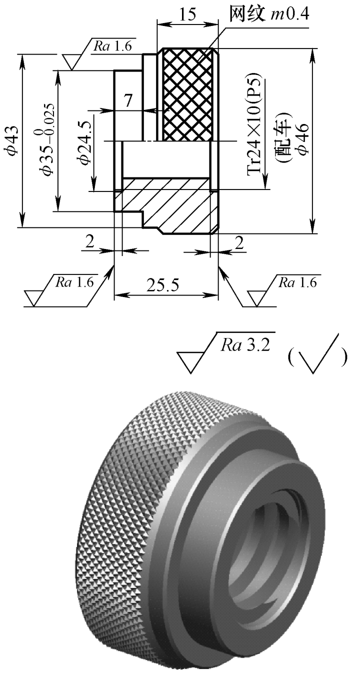
未注倒角C1.5；锐边倒钝C0.5。

图 4-54　件 3 锥堵



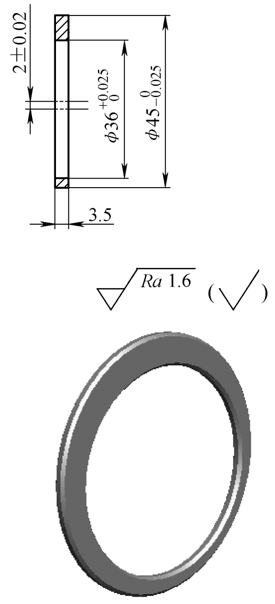
技术要求
未注倒角$C1.5$；锐边倒钝$C0.5$。

图 4-55　件 4 压帽



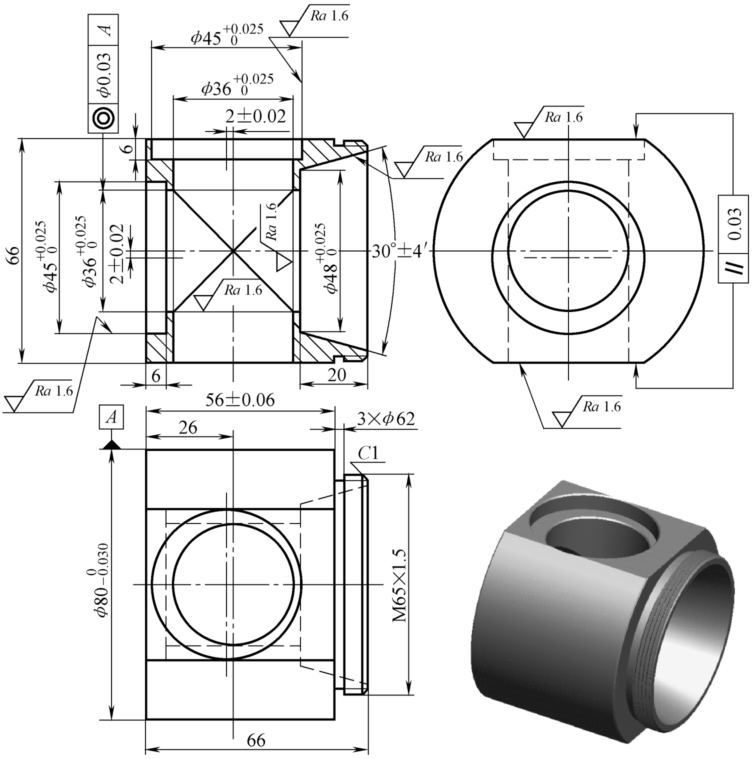
技术要求
未注倒角$C1.5$；锐边倒钝$C0.5$。

图 4-56　件 7 螺母



技术要求
锐边倒钝$C0.5$。

图 4-57　件 8 偏心垫



技术要求

未注倒角$C1$；锐边倒钝$C0.5$。

$\sqrt{Ra\ 3.2}$ ($\sqrt{}$)

图 4-58　件 2 十字座

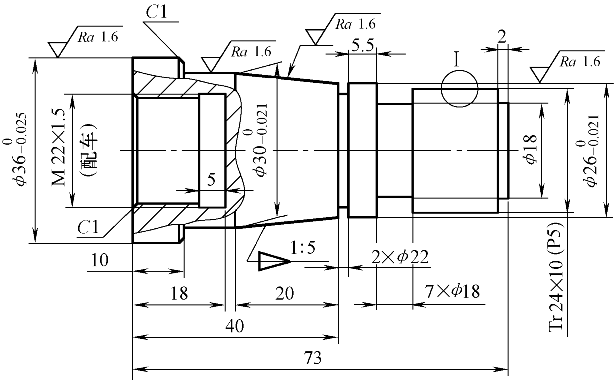


图 4-59　件 5 锥形螺杆

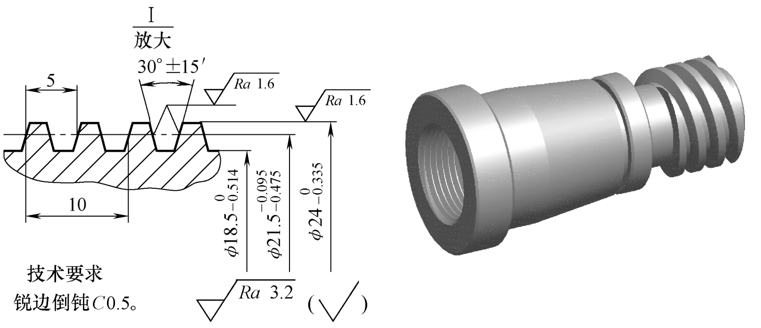


图 4-59　件 5 锥形螺杆（续）

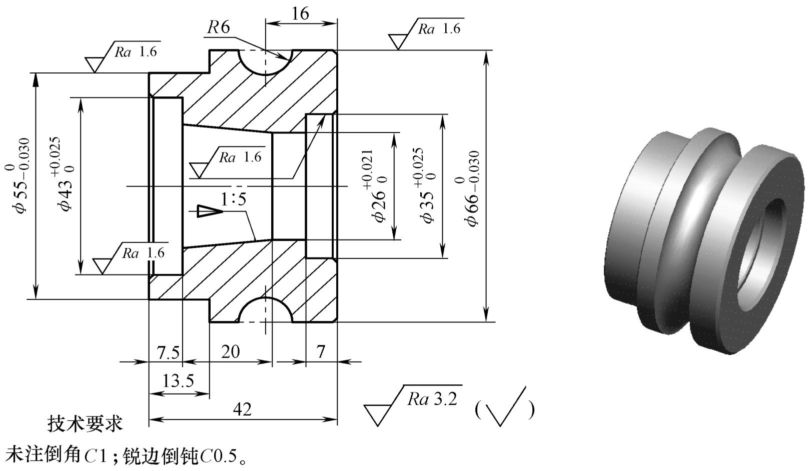


图 4-60　件 6 内锥套

1. 技术要求与工艺分析

（1）技术要求　组合后的装备图A、装备图B总长度尺寸都是（145±0.08)mm；圆锥配合接触面要求大于70%；各螺纹配合轴向窜动最大间隙<0.10mm。

1）螺杆：尺寸公差有3处；普通螺纹与偏心螺母配作；表面滚花网纹 m = 0.4mm。偏心距（2±0.02）mm。

2）锥堵：尺寸公差有6处；30°±4′圆锥与十字座配合，圆锥配合接触面大于70%。端面槽与内锥套配合。

3）压帽：尺寸公差有3处；螺纹配合，轴向窜动最大间隙<0.10mm；有表面滚花。

4）螺母：尺寸公差有1处；与螺杆梯形螺纹配作，轴向窜动最大间隙<0.10 mm；有表面滚花。

5）偏心垫：尺寸公差有2处；偏心距（2±0.02）mm。

6）十字座：尺寸公差有 7 处；30°±4′圆锥与锥堵配合；螺纹配合，轴向窜动最大间隙<0. 10mm；偏心距（2±0. 02）mm 有 2 处；几何公差有 2 处。

7）锥形螺杆：尺寸公差有 6 处；与螺杆梯形螺纹配作，轴向窜动最大间隙<0. 10mm；有 1∶5 圆锥。

8）内锥套：尺寸公差有 5 处；1∶5 圆锥与十字座配合，圆锥配合接触面大于 70%；有 *R*6mm 的圆弧槽。

（2）工艺分析

1）零件备料为 ϕ85mm×70mm、ϕ75mm×90mm、ϕ65mm×140mm、ϕ50mm×115mm 的 45 钢圆棒料，通过对图样分析，件 2 十字座用 ϕ85mm×70mm 圆棒料；件 4 压帽、件 6 内锥套共用 ϕ75mm×90mm 料；ϕ65mm×140mm 材料用于加工件 1 螺杆、件 3 锥堵、件 8 偏心垫；ϕ50mm×115mm 材料用于加工件 5 锥形螺杆、件 7 螺母。

2）件 1$\phi 36_{-0.025}^{\ 0}$mm、$\phi 45_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆相对于基准（两端中心孔）*A*、*B* 轴线同轴度误差为 ϕ0. 02mm，因此该两处外圆必须采用两端顶尖的方法一次装夹完成。

3）在车削件 2 十字座四方形的时候，由于工件的几何公差要求高，对于操作者来说，必须熟练掌握四方形的找正方法，且设计的车削路线必须正确。

4）在车削偏心轴和偏心孔时，为了能达到轴、孔偏心顺利组合的目的，找正时除按要求找好轴线与机床主轴平行外，偏心找正误差应尽可能相同。如偏心轴所找实际偏心为 $2^{+0.015}_{\ 0}$mm，侧偏心孔也应找到此值，这样就使组合更容易些。

5）1∶5 圆锥配合要求接触面达 70%，这对车削来说有较大难度。因此在车削时应采取相应的措施，在该例中可采用百分表找锥面的方法找正。

2. 参考加工方法与工序设计

加工顺序为：件 1 螺杆→件 8 偏心垫→件 3 锥堵→件 5 锥形螺杆→件 7 螺母→件 4 压帽→件 6 内锥套→件 2 十字座。

（1）由件 1 螺杆、件 3 锥堵和件 8 偏心垫共料下料分配　如图 4-61 所示。

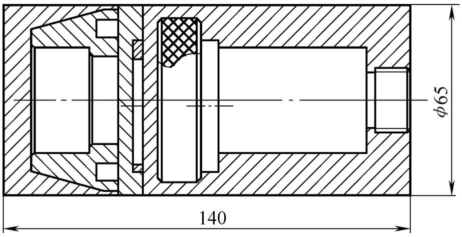


图 4-61　下料分配（一）

1）件 1 螺杆的车削。

① 用自定心卡盘夹持 ϕ65mm 的毛坯外圆，车夹持位。

② 调头，精车端面，钻中心孔。

③ 一夹一顶装夹工件；粗车外圆各台阶尺寸至图 4-62 所示要求。切 ϕ50mm×17. 5mm 退刀槽，车 ϕ50mm×6mm 台阶；滚花，滚花长度大于 15mm，滚花部分倒角 *C*1. 5，粗、精车 M22×1. 5 螺纹至尺寸；切断。

④ 包纯铜皮，垫偏心垫铁，夹持螺杆 ϕ62. 5mm 外圆，用百分表找正工件的偏心圆轴心线与主轴轴线平行；检验、找正偏心距，工件偏心距为（2±0. 02）mm，

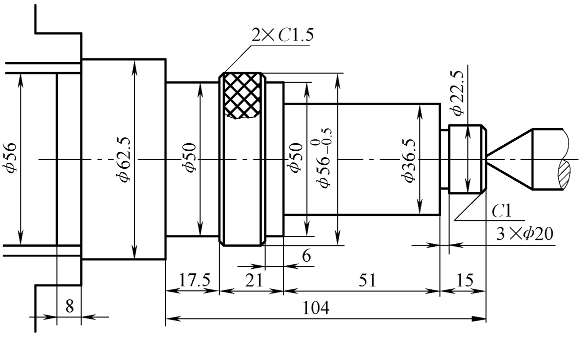


图 4-62　滚花

在外圆上反映为 4mm；粗、精车 ϕ50mm 台阶至尺寸 $\phi45_{-0.025}^{\ 0}$mm。

技能大师经验谈：

虽然使用了偏心垫铁装夹工件，但此时的偏心距仅在理论上是正确的，因受自定心卡盘的精度、磨损状态的影响，此时检验偏心距的误差还是很大的。解决办法通常是将工件在卡爪中转动一定角度，或采用拧紧不同扳手孔的方法夹紧，一般都能减小或消除偏心距误差。

在偏心距找正、工件夹紧之后，应再检验工件偏心圆轴线与主轴轴线的平行度符合要求才能车削。

此偏心距还可用单动卡盘夹持车削。

⑤ 精车端面，控制总长；钻中心孔，倒角。

⑥ 两端顶，精车 $\phi36_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆至尺寸。

2）件 8 偏心垫的车削。

① 夹持车削螺杆所剩料头 ϕ62.5mm 的外圆，精车端面，粗、精车 $\phi45_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆至尺寸，用 ϕ22mm 麻花钻钻孔。

② 用单动卡盘装夹，垫纯铜皮，夹持 ϕ62.5mm 的外圆，用百分表以 $\phi45_{-0.025}^{\ 0}$mm 外圆为基准找正偏心，精车 $\phi36_{\ 0}^{+0.025}$mm 内孔，倒角，切断。

3）件 3 锥堵的车削。

① 利用车削螺杆和偏心垫所剩料头，夹持 ϕ62.5mm 外圆，精车端面，钻 ϕ29mm 及锪 ϕ35mm 台阶孔；粗、精车 $\phi62_{-0.03}^{\ 0}$mm 外圆；粗、精车 $\phi30_{\ 0}^{+0.021}$mm、$\phi36_{\ 0}^{+0.025}$mm 内孔；用百分表找正小滑板搬角度的方法，粗、精车 30°±4′锥度；倒角。

② 调头，用单动卡盘装夹，垫纯铜皮，夹持工件 $\phi62_{-0.03}^{\ 0}$mm 外圆，找正工件；精车端面，控制总长尺寸；切端面槽，粗、精车 $\phi43_{-0.025}^{\ 0}$mm、$\phi55_{\ 0}^{+0.030}$mm 和槽深 7.5mm 至尺寸。

（2）件 5 锥形螺杆、件 7 螺母共料下料分配　如图 4-63 所示。

因材料长度限制，为便于滚花，将件 5、7 先采用合车的方法加工。

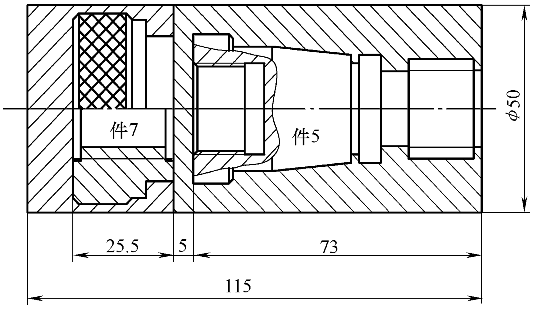


图 4-63　下料分配（二）

1）件 5 锥形螺杆的车削。

① 夹持 ϕ50mm 的毛坯外圆。精车端面，钻中心孔。

② 车件 7 螺母部分，一夹一顶装夹工件；车外圆及各台阶尺寸至图 4-64 所示要求，滚花。

③ 夹持工件 $\phi46_{-0.5}^{\ 0}$ mm 外圆，用 ϕ17mm 钻头钻至深 18mm；车内孔台 2×ϕ24.5mm；倒角。

④ 调头，车件 5 锥形螺杆。采用一夹一顶，垫纯铜皮，夹持工件滚花外圆；钻中心孔。粗车各台阶；粗、精车梯形螺纹 Tr24×10（P5）；如图 4-65 所示要求，倒角；精车各外圆；用百分表找正小滑板搬角度的方法，粗、精车 1∶5 锥度，切断。

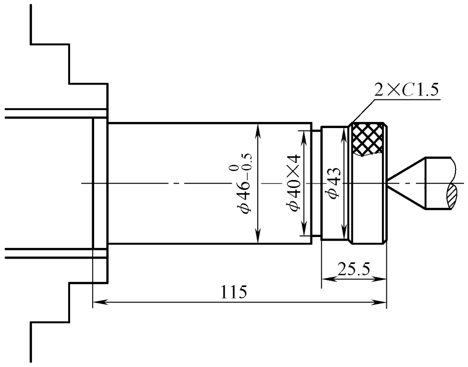


图 4-64　车外圆、台阶，滚花

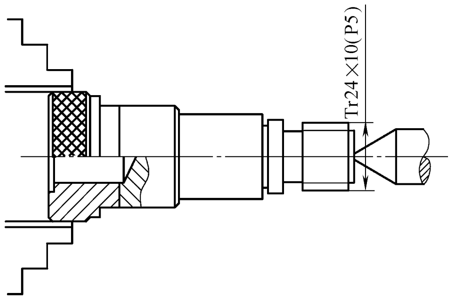


图 4-65　车外圆各台阶尺寸

⑤ 调头，包纯铜皮装夹、找正，精车端面，控制总长尺寸；车螺纹底孔，车退刀槽；粗、精车 M22×1.5 螺纹，按件 1 螺杆外螺纹配车。

2）件 7 螺母的车削。垫纯铜皮装夹、找正，粗、精车端面至尺寸；粗、精车 $\phi35_{-0.025}^{\ 0}$ mm 外圆；车梯形螺纹底孔至尺寸要求；车台阶孔；倒角；粗、精车内梯形螺纹 Tr24×10（P5）与件 5 锥形螺杆配作。

（3）件 4 压帽、件 6 内锥套共料下料分配　如图 4-66 所示。

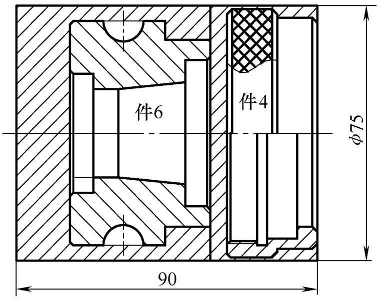


图 4-66　下料分配

1）件 4 压帽的车削。

① 夹持 ϕ75mm 的毛坯外圆。精车端面，车夹持位 12mm。

② 精车端面，钻中心孔。

③ 一夹一顶，装夹工件；粗、精车外圆各台阶尺寸至图 4-67 所示要求，滚花，倒角。

④ 用 ϕ24mm 麻花钻钻通工件；再用锪钻将孔扩至 ϕ50mm，深度 30mm；粗、精车 $\phi55^{+0.03}_{0}$mm 内孔；粗、精车 $\phi62^{+0.03}_{0}$mm 内孔；切槽，倒角；粗、精车 M65×1.5 内螺纹，用螺纹塞规检验；切断。

2）件 6 内锥套的车削。

① 粗、精车 $\phi66^{0}_{-0.03}$ mm 外圆；粗、精车 $\phi55^{+0.03}_{0}$ mm 外圆；粗、精车 $\phi26^{+0.021}_{0}$mm内孔；粗、精车 $\phi43^{+0.025}_{0}$mm 阶台孔；用百分表找正小滑板搬角度的方法，粗、精车 1∶5 锥孔，并与件 5 锥形螺杆外锥配作；确定 R6mm 圆弧位置，切痕，用小圆弧刀粗车圆弧，再用 R6mm 圆弧刀精车圆弧槽，深度切至 6mm，用圆弧样板检验；倒角，如图 4-68 所示。

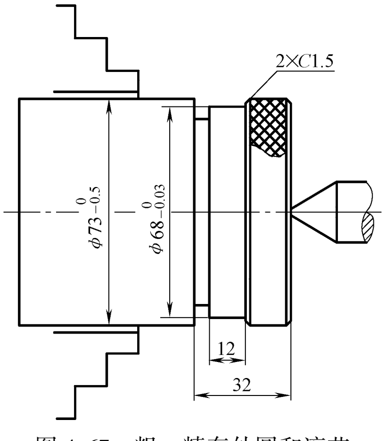


图 4-67　粗、精车外圆和滚花

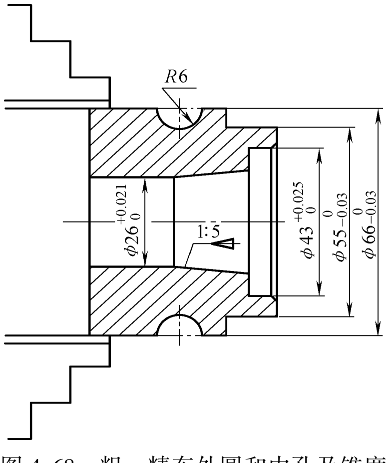


图 4-68　粗、精车外圆和内孔及锥度

② 包纯铜皮，夹持工件 $\phi55^{+0.03}_{0}$mm 外圆，找正；精车端面，定总长；粗、精车 $\phi35^{+0.025}_{0}$mm 阶台孔；倒角。

（4）件 2 十字座

1）夹持 ϕ85mm 的毛坯外圆。精车端面，钻 ϕ34mm 通孔；粗车外圆各台阶尺寸至图 4-69 所示要求。

2）调头，夹持工件 ϕ65.5mm 外圆；粗、精车端面；保证长度尺寸（56±0.06）mm 和总长度尺寸 66mm。

3）粗、精车 $\phi80_{-0.03}^{0}$mm 外圆至尺寸要求。

4）用单动卡盘垫纯铜片装夹，如图 4-70 所示。用百分表找正工件。先找正工件外圆表面，将工件轴线与主轴轴线找垂直，如图 4-70a 所示；再找正下端平面素线与主轴轴线平行，如图 4-70b 所示；接着借助量块，找正孔偏心距，确定尺寸 26mm，如图 4-70c 所示。重复以上操作直至将工件找正为止。

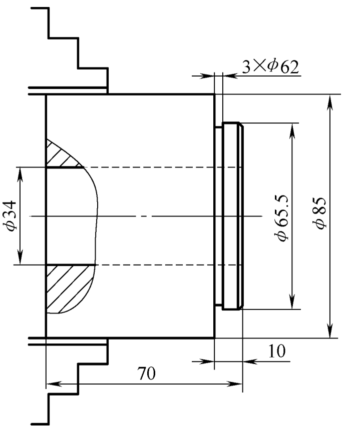
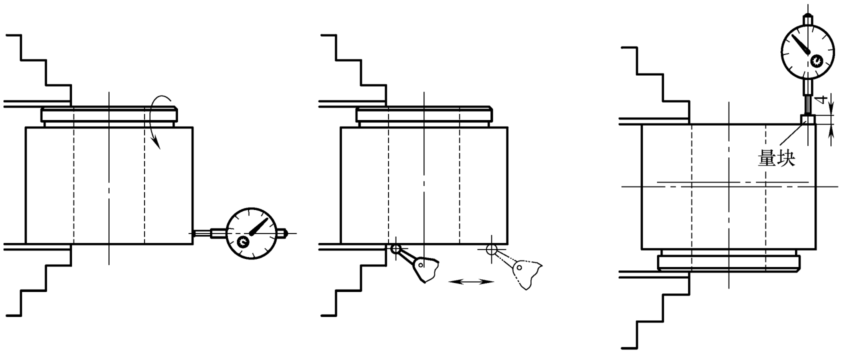


图 4-69　车夹持位



a)　　b)　　c)

图 4-70　百分表找正工件

5）粗、精车端面；去除量为 7mm，如图 4-71 所示。

6）用 ϕ34mm 麻花钻钻通工件；粗、精车 $\phi36_{0}^{+0.025}$mm 的内孔至尺寸要求。

7）将工件调转 90°装夹，用同样的方法找正 $\phi45_{0}^{+0.025}$mm 偏心孔轴线与主轴轴线重合，粗精车 $\phi45_{0}^{+0.025}$mm 偏心孔。

8）将工件调转 180°装夹，找正 $\phi36_{0}^{+0.025}$mm 内孔轴线与主轴轴线重合，半精车、精车 $\phi36_{0}^{+0.025}$mm 内孔；用百分表找正小滑板搬角度的方法，粗、精车 30°±4′锥度，使用件 3 锥堵采用涂色法检验、校准锥角，保证锥度接触面；粗、精车 M56×1.5mm 螺纹与件 4 压帽配作；倒角。

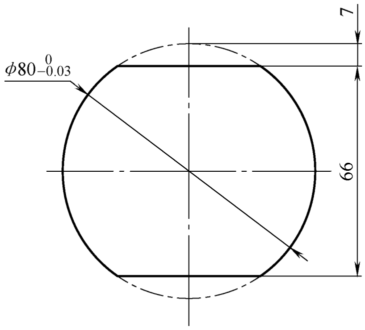


图 4-71　外圆车除量的计算

9）将工件调转 90°装夹，用同样的方法找正 $\phi45^{+0.025}_{0}$mm 偏心孔轴线与主轴轴线重合，粗、精车 $\phi45^{+0.025}_{0}$mm 偏心孔。

3. 主要部位的检验

（1）平行度的检验　检验时可用外径千分尺测量其四个角的尺寸差，还可采用百分表在平板上移动，测量两平行面间的测量值，其测量值差即为平行度误差。

（2）同轴度的检验　将微锥心轴轻轻敲入工件内孔，装在偏摆仪上用百分表测量 $\phi80^{0}_{-0.03}$mm 外圆表面，转动微锥心轴，读数，如图 4-72 所示。其最大读数与最小读数之差即为 $\phi36^{+0.025}_{0}$mm 孔相对基准 $\phi80^{0}_{-0.03}$mm 外圆的同轴度误差。

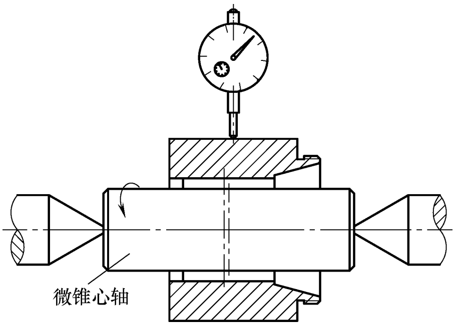
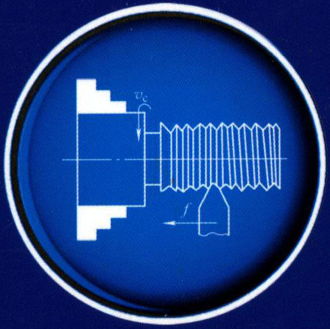


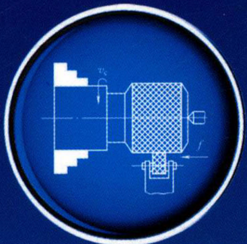
图 4-72　检验 $\phi36^{+0.025}_{0}$mm 孔相对基准 $\phi80^{0}_{-0.03}$mm 外圆的同轴度

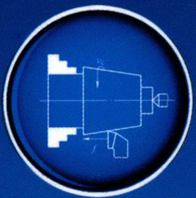
参 考 文 献

[1] 晏丙午. 高级车工工艺与技能训练［M］. 北京：中国劳动社会保障出版社，2006.
[2] 曹奇星，赵军华. 普通车削加工操作实训［M］. 北京：机械工业出版社，2008.
[3] 雷午生，蒋增福. 车工（技师技能　高级技师技能）［M］. 北京 ：中国劳动社会保障出版社，2006.
[4] 许志强. 车工技师培训教材［M］. 北京：机械工业出版社 ，2002.

CHEGONG
CONG JIGONG DAO JISHI
YIBENTONG







地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社微信公众号

ISBN 978-7-111-55643-5
策划编辑◎赵磊磊 / 封面设计◎张静

ISBN 978-7-111-55643-5

9 787111 556435

定价：45.00元